TOME X 1933

ANNALES

DU

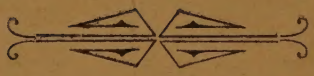
SERVICE BOTANIQUE

ET AGRONOMIQUE

DE LA DIRECTION GÉNÉRALE

DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DE LA COLONISATION

DE TUNISIE



TUNIS

SOCIÉTÉ ANONYME DE L'IMPRIMERIE RAPIDE DE TUNIS

5, rue Saint-Charles

—

1933

CONTRIBUTION A LA MEILLEURE COMPRÉHENSION

DU PROBLÈME DE L'AZOTE

DANS LES TERRES NORD-AFRICAINES

PAR

L. YANKOVITCH

CHEF DE TRAVAUX AU SERVICE BOTANIQUE ET AGRONOMIQUE
DE TUNISIE

PRÉFACE

L'Agriculture, comme toutes les branches de l'activité humaine, a sa théorie et sa pratique. Mais tandis que la plupart des autres ont leur partie théorique bien développée et basée sur la mathématique ou la physique, sciences plus ou moins exactes, l'agriculture, qui doit se baser sur la connaissance du sol et de la plante, présente cette particularité qu'elle repose sur des sciences biologiques et doit tenir compte d'une multitude de facteurs variables.

D'autre part, les esprits les plus curieux et les plus profonds de l'humanité ont été, dans la majorité des cas, absorbés par les sciences physico-mathématiques, sciences de la ville; à la campagne, où l'on est toujours plus ou moins isolé, beaucoup de découvertes importantes ont été faites par l'observation: le praticien attribue la différence des rendements à celui des nombreux facteurs de production végétale qui lui semble être la cause la plus probable. Cette voie a amené l'établissement de plusieurs pratiques dont l'exactitude scientifique est souvent (avec beaucoup de retard) démontrée indiscutablement par la science agricole, comme c'est le cas de la fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses; souvent est expliquée plus ou moins bien, par exemple, l'augmentation de la fertilité par la jachère, sur laquelle nous connaissons beaucoup de choses; mais jamais nous ne pourrons savoir tout ce qui se passe dans le sol; enfin, il y a des observations de praticiens qui ne concordent pas avec des règles qui sont considérées comme très justes, parce que les conditions naturelles sont très différentes de celles où les règles ont été établies; ou parce que l'on a oublié jusqu'alors de s'occuper de la création de ces règles.

Ce dernier cas surtout est intéressant, parce qu'il soumet à l'étude des problèmes dont la solution, en complétant utilement nos connaissances théoriques, rendra service à l'agriculture régionale.

Parmi ces questions, le régime de l'azote dans les terres du Nord de l'Afrique et la technique de l'emploi des engrais azotés sont l'objet de discussions et d'appréciations très différentes chez les agronomes nord-africains, et il n'est pas douteux que les principes admis à leur sujet en France doivent être révisés dans le milieu particulier que l'on rencontre de l'autre côté de la Méditerranée.

Depuis 1927, nous avons entrepris l'étude de la possibilité d'emploi des engrais azotés dans l'Afrique du Nord. Dans ce travail, nous présentons tout ce qu'il nous a été possible d'établir jusqu'à ce jour.

Nous ne prétendons pas avoir réalisé des découvertes scientifiques importantes; nous avons essayé, simplement, d'apporter quelques

précisions sur des phénomènes de nature connue; ces précisions permettront, nous l'espérons, de faire profiter la culture des céréales (et d'autres plantes), dans l'Afrique du Nord, de données plus exactes sur la vie du sol et sur les possibilités qu'il présente pour le développement de l'agriculture nord-africaine.

Si les travaux que nous avons pu poursuivre pendant cinq à six ans, tant à l'Institut Agricole de Maison-Carrée qu'au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, nous permettent aujourd'hui d'apporter une contribution à la technique de l'emploi des engrais azotés dans le Nord de l'Afrique, nous ne saurions oublier que nous le devons à un enchaînement heureux de circonstances, ainsi qu'au concours bienveillant de nombreuses personnes, à qui nous nous faisons un devoir d'exprimer toute notre gratitude :

M. L. Brétignière, *notre professeur de l'Ecole de Grignon, dont la sollicitude nous a facilité l'admission dans le personnel de l'Institut Agricole d'Algérie à Maison-Carrée;*

M. le Professeur C. Arambourg, *qui fut, à cet Institut, notre Chef et notre Maître et à qui nous sommes redevable de notre formation de chimiste, des premiers moyens de travail et des conseils les plus éclairés pour la mise en train de nos expériences;*

MM. Bonafé, *Directeur*, Ducellier, Vivet, Husson, *Professeurs, dont les entretiens ont été pour nous le milieu favorable aux études et nous ont fait bénéfice de leur expérience de l'agriculture nord-africaine;*

M. le Professeur I. Pouget *et M.* D. Chouchac, *de la Faculté des Sciences d'Alger, auprès de qui nous avons pu parfaire nos études théoriques et pratiques de Chimie;*

M. J. Bœuf, *Chef du Service Botanique et Agronomique de Tunisie, qui nous a donné les moyens de poursuivre nos expériences dans le laboratoire et le domaine de ce Service et qui a bien voulu accepter la tâche de corriger, dans la mesure du possible, notre texte, dont la rédaction se ressent de notre connaissance imparfaite de la langue française;*

M. le Professeur V. Agafonoff, *qui, au cours d'une longue tournée en Tunisie, nous a enseigné à examiner les sols du point de vue de la pédologie;*

M. H. Soulmagnon, *Professeur à l'Ecole Coloniale d'Agriculture de Tunis, qui nous a souvent fait profiter de sa connaissance de la Chimie agricole;*

Enfin, M. V. Novikoff, *le dévoué Préparateur de notre laboratoire, qui devient pour nous un précieux collaborateur.*

Ariana, Service Botanique et Agronomique, 1^er^ mars 1933.

Table des Matières

Pages

PRÉFACE I

INTRODUCTION :

I. *Aperçu rapide sur les conditions météorologiques des années des expériences* 1

II. *Considérations générales sur l'alimentation du blé* 3

a) Etude chimique sur l'accroissement du blé 3
b) A quel moment faut-il donner à la plante les substances fertilisantes ? 5
c) Dans quelle mesure le dosage des éléments fertilisants assimilables du sol peut renseigner sur le besoin en engrais ? 6

A. RECHERCHES SUR L'AZOTE NITRIQUE DU SOL :

I. *Azote nitrique dans deux terres nord-africaines* 7

a) Choix de la méthode de dosage 8
b) Dans quelle mesure l'azote nitrique peut-il servir de critérium dans l'estimation de la productivité d'une terre ? 9
c) Azote nitrique dans une terre à Maison-Carrée. — Etude de l'Institut Agricole d'Algérie 12
d) Azote nitrique dans les terres du Service Botanique et Agronomique de Tunisie 14
e) Azote nitrique des terres d'Angleterre et de France 23

II. *Azote nitrique dans les eaux de drainage* 25

a) Installation du Service Botanique et Agronomique pour l'étude des eaux de drainage 25
b) Organisation du travail 28
c) Infiltrations enregistrées 29
d) Concentration des eaux de drainage en azote nitrique 31
e) Quantité d'azote nitrique ayant traversé la couche de terre de 90 centimètres 35
f) Est-ce qu'il y a à craindre que l'azote nitrique de la terre puisse être perdu par l'infiltration ? 39
g) Fertilité, pluviométrie et perméabilité du sol en rapport avec l'assolement 41
h) Concentration en azote nitrique des eaux de drainage en Angleterre et en France 42

III. *Nitrification et dénitrification des engrais* 44

Pages

IV. *Les autres formes de l'azote du sol* 52

a) Azote ammoniacal 52
b) Azote nitreux 57
c) Azote organique 58

V. *Résumé des recherches de laboratoire et conclusions* 59

B. Expériences sur le terrain 63

C. Expériences dans les bacs de 90 centimètres de profondeur 73

D. Conclusions générales des expériences sur les cultures 78

ANNEXE

Dosage de l'azote nitrique dans les eaux de drainage par la méthode de Grandval et Lajoux 82

Dosage de l'azote nitrique dans les terres 82

Ouvrages consultés 85

INTRODUCTION

I. Aperçu rapide sur les conditions météorologiques des années des expériences

Comme l'indique déjà le titre du chapitre, ce n'est pas une étude développée du climat que nous envisageons, mais seulement une brève note sur les conditions météorologiques particulières des années pendant lesquelles les expériences furent réalisées sur l'action des engrais en général et des engrais azotés en particulier.

En 1927-28, les expériences ont eu lieu à Maison-Carrée. L'année météorologique présentait un écart sensible par rapport à une année moyenne. En novembre, on eut près de 235^{mm} de pluie, c'est-à-dire le double des précipitations moyennes; la terre, gorgée d'eau, n'a pas eu la possibilité de se remettre à l'état d'humidité normale, puisque, les quatre mois suivants, on a eu, en chiffres ronds, près de 400^{mm} de pluie; en avril, il plut fréquemment, mais par petites quantités à la fois (total mensuel : 23^{mm}); quant au mois de mai, il a été également pluvieux, avec 65^{mm} de précipitations environ, dont plus de 50 dans la deuxième décade.

L'année peut être caractérisée comme une année humide, la terre ayant été gorgée d'eau pendant quatre mois et étant restée plus humide que d'habitude au printemps. La croissance du blé se fit mal, et les rendements ont été plutôt faibles.

Les expériences des années suivantes ont eu lieu à l'Ariana, près de Tunis, au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, où les terres sont argilo-calcaires; l'excès de pluies y est moins nuisible, parce que la terre se ressuie assez vite; elles ont, à ce point de vue, un grand avantage sur celles de l'Institut Agricole d'Algérie à Maison-Carrée.

L'humidité d'une de ces terres du Service Botanique, occupée par le blé en 1928-29, est représentée graphiquement, accompagnée des courbes de la température moyenne du sol, à des profondeurs différentes, pour les années 1924-28. (Voir graphique 1 plus bas.)

La pluviométrie des quatre années agricoles a été :

	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn.	Jl.
1928-29	0	94	37	96	87	49	58	119	12	35	16	1
1929-30	0	24	22	50	56	38	81	54	53	19	10	14
1930-31	0	63	82	27	105	55	100	27	30	8	3	5
1931-32	0	9	52	46	293	9	103	40	16	9	5	
Moyenne 1900-1925	0	25	45	58	45	65	51	46	36	20	9	2

L'année 1928-29 débuta par les fortes pluies de septembre. Les mois de novembre, décembre et mars, très pluvieux, donnent un cachet de froid et d'humidité à toute la période, jusqu'aux premiers jours d'avril. A ce moment, le temps change assez brusquement; les jours chauds et ensoleillés se succèdent jusqu'à la récolte; les pluies des mois d'avril et mai sont venues à temps pour maintenir l'action de celles de mars. La récolte a été bonne.

L'année 1929-30 fut remarquable par l'automne sec; il y eut même des difficultés pour effectuer les semailles de novembre, qui fut très beau et sec. L'hiver fut ensoleillé et très agréable; la terre n'était pas imbibée d'eau à 90 centimètres de profondeur jusqu'en février. Cet ensemble de conditions heureuses s'est traduit par le maintien des hautes concentrations dans le sol; les blés ont été de très belle couleur foncée et ont bien tallé. Les fortes pluies de février ont reconstitué les réserves du sous-sol en eau; le printemps, un peu plus froid que d'habitude et avec des pluies abondantes en mars et avril, a été également favorable au blé, qui a donné un très bon rendement et des produits de qualité supérieure.

Nous résumant en quelques mots, ce fut une année à hiver sec et chaud et à printemps froid et humide, avec peu de pluies, mais remarquablement réparties.

En anticipant sur notre exposé à venir, nous dirons que ces conditions ont été tellement favorables au sol qu'aucun engrais n'a pu manifester une action quelque peu marquée sur le rendement.

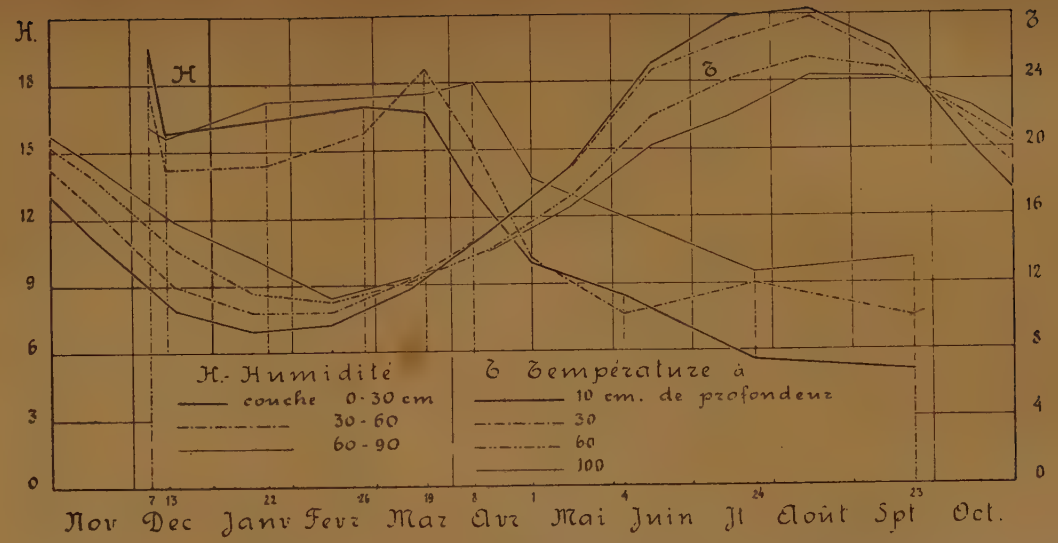
L'année 1930-31 fut assez pluvieuse dans le début et sèche au printemps; l'hiver relativement doux. La récolte a été assez bonne quoique le printemps, trop sec, fit courir le risque sérieux d'échaudage.

En 1931-32, l'automne a été normal, et les pluies de septembre et octobre ont été suffisantes pour permettre les semailles dans de bonnes conditions. Les pluies de novembre eurent lieu surtout vers la fin du mois; petites et répétées, elles permirent une germination normale.

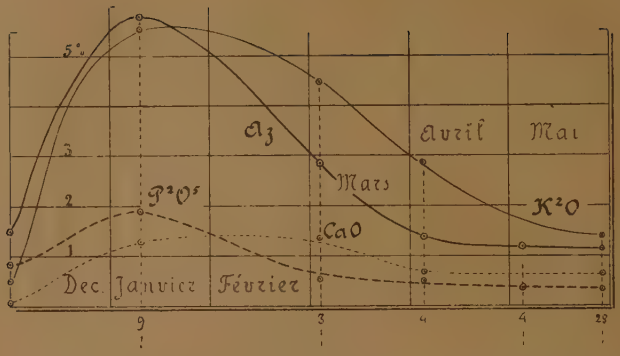
Mais, au mois de décembre, un cyclone s'est abattu sur le pays, accompagné d'un vent violent et de pluies torrentielles. Les nitrates sont descendus profondément et il faut un certain temps pour que les racines les atteignent. Par contre, le mois de janvier a été très sec. Les pluies sont encore abondantes en février; elles deviennent normales en mars; et elles sont insuffisantes en avril et mai, diminuant les possibilités agricoles.

En résumé, l'année a été pluvieuse (582^{mm}); mais les pluies ont été mal réparties. La récolte est moyenne. Des quatre années examinées, elle est la plus médiocre.

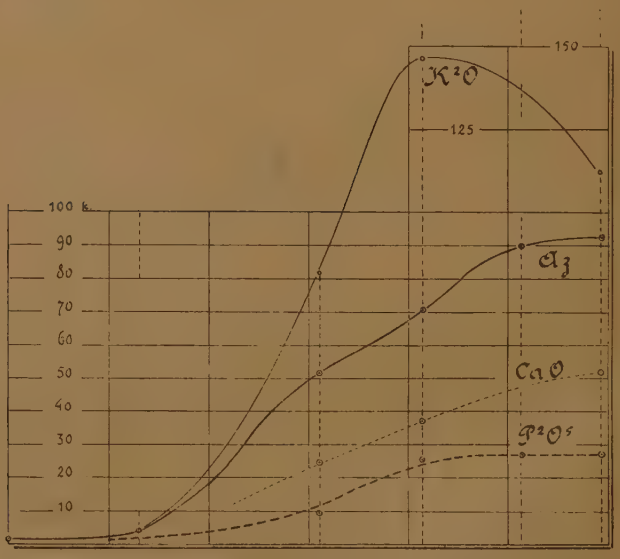
Quoique nous ne tenions pas à étudier le climat, nous trouvons con-



GRAPHIQUE 1. — Température moyenne mensuelle du sol au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, à l'Ariana. (Humidité mesurée en 1928-29 dans un champ de blé après jachère.)



GRAPHIQUE 2 *a*. — Composition centésimale de la matière sèche, déterminée avec le Florence 135. (1930-31.)



GRAPHIQUE 2 *b*. — Eléments fertilisants, en kilogrammes par hectare. Florence 135.

venable, pour donner une caractéristique supplémentaire des terres nord-africaines du littoral, de présenter les températures du sol à différentes profondeurs (*Cf.* graphique 1).

II. Considérations générales sur l'alimentation du blé

a. Etude chimique sur l'accroissement du blé

Un grain de blé, que l'on confie au sol, pèse environ 40 mgr. et, si le développement de la plante était normal, cette plante fournirait à la récolte 7 gr. 5 environ de matière sèche dont 5 gr. de paille et 2 gr. 5 de grain. A raison de 100 plantes par mètre carré, la production d'un hectare est de 25 quintaux de grain et de 50 quintaux de paille [1].

Comme les résultats d'analyses trouvés dans les ouvrages sont assez variables et se rapportent à des milieux différents, nous allons donner les chiffres obtenus au Service Botanique et Agronomique de Tunisie avec le Florence 135 après la jachère. Ces chiffres auront l'avantage d'être obtenus dans le même milieu et le même climat que nos autres analyses et études. La partie aérienne seule a été analysée; les plantes ont été coupées au ras du sol, à des époques indiquées au tableau 1, sur un ou deux mètres carrés, choisis dans un champ homogène.

Les chiffres du tableau 1 ont servi pour l'établissement du graphique de la composition centésimale de matière sèche (séchée à l'étuve) et de l'assimilation des éléments minéraux sur la surface d'un hectare (voir graphique 2).

Quoique nos graphiques soient établis pour la quantité totale des éléments par hectare (et non comme dans l'ouvrage de Garola qui préfère présenter la marche de l'absorption des principes nutritifs en centièmes des maxima), on peut se rendre compte que les modes d'absorption des divers éléments fertilisants du sol présentent certaines différences.

La germination est accompagnée d'une perte de poids, sans pertes en éléments fertilisants

Le tallage a lieu plus tôt qu'en France septentrionale. Son début dépend de plusieurs facteurs : époque des semailles; température et autres conditions météorologiques de novembre; richesse du sol en éléments assimilables; aptitudes particulières de la variété. Dans le cas donné, avec semailles un peu tardives au 1er décembre, le tallage était à peine marqué le 9 janvier.

---

(1) Dans la pratique, on sème toujours 200-300 grains par m2 pour couvrir les pertes causées par les insectes, les oiseaux, etc,

TABLEAU 1

Absorption des éléments minéraux par le Florence 135 après la jachère au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, 1930-31

COMPOSITION CENTÉSIMALE DE LA MATIÈRE SÈCHE DES PLANTES ENTIÈRES SANS RACINES

	Semis	9 janvier	3 mars	4 avril	4 mai	Maturité
Matière sèche (% du poids frais).....		14.6	19.4	24.05	44.4	89.3
Azote	1.5	5.80	2.85	1.38	1.17	1.14
$P^2 0^5$	1.0	1.92	0.53	0.50	0.35	0.33
$K^2 O$.....	0.6	5.57	4.47	2.86	»	1.38
Ca O.....		1.31	1.36	0.68	»	0.64

POIDS EN KILOGRAMMES PAR HECTARE :

Matière sèche	(100)	69.5	1.820	5.120	7.680	8.126
Azote.....	1.500	4.031	51.870	70.656	89.856	92.636
$P^2 0^5$	1.000	1.334	9.646	25.600	26.880	26.816
$K^2 O$.....	0.600	3.871	81.354	146.432	»	112.239
Ca O.....		0.900	24.756	34.816	»	52.006

L'accroissement véritablement intense de la matière sèche végétale par hectare ne commence qu'en mars. Il est accompagné de la diminution de la teneur centésimale de la plante en éléments fertilisants. Pendant que la teneur centésimale baisse, la quantité absolue de l'élément augmente dans la récolte à l'hectare. L'examen des chiffres du tableau 1, qui sont rendus plus éloquents par le graphique 2, montre que l'abaissement de la teneur en acide phosphorique est plus fort, proportionnellement, que celui des autres éléments, et il se marque plus tôt que celui d'azote; que la teneur centésimale en azote varie plus que celle en potasse; que la teneur en potasse se maintient constamment la plus élevée.

La quantité des éléments minéraux fertilisants assimilés par hectare n'augmente pas suivant une ligne droite ou une courbe régulière, mais décrit (au moins dans notre cas) des courbes particulières pour chacun d'eux. L'azote marque un certain ralentissement au début d'avril, mais reprend ensuite pour s'arrêter en mai, peu de temps avant la maturité, quand la plante commence à mourir. L'acide phosphorique de la récolte est assimilé principalement en mars; la ligne

de la potasse montre avec quelle rapidité le blé peut l'assimiler, en février et mars, dans notre terre; elle fléchit fortement en mai, quand les feuilles sont mortes et se détachent en partie.

b. A quel moment faut-il donner a la plante les substances fertilisantes ?

Quant à l'acide phosphorique et à la potasse, l'agriculteur n'a pas à choisir. Vu la faible mobilité de ces éléments après leur incorporation au sol, on est obligé de les lui apporter avant les semailles. Quant à l'azote, il est possible de le fournir ou avant les semailles, ou au moment des semailles, ou à une date variable au cours de la végétation. En France, dans les régions de culture intensive, on cultive le blé dans une terre qui a été fortement fumée pour la culture précédente (betterave à sucre ou pomme de terre); l'engrais azoté est incorporé en deux fois : 1) avant les semailles, sous forme de sulfate d'ammoniaque; 2) au début de tallage, en mars ou au commencement d'avril, sous forme de nitrate de soude. Il semblerait superflu de mettre l'azote en automne dans une terre qui a été maintenue en état de grande productivité par les fumures copieuses précédentes. Cependant, la pratique et les expériences prouvent qu'au moment de la germination, il faut avoir un milieu riche. Des résultats intéressants concernant l'effet des engrais sur la germination et sur le rendement total se trouvent dans l'ouvrage de Schreiber (« Le Sol et les engrais », t. II) et dans les nombreux essais entrepris en France en 1930-31 par l'Institut des Recherches Agronomiques. Il résulterait de ces expériences que les engrais ont une très grande influence sur le rendement par leur action sur la germination et le développement pendant la première période de la vie de plante.

Nous avons démontré que, dans deux terres nord-africaines, dont l'une est celle de l'Institut Agricole d'Algérie et l'autre celle du Service Botanique et Agronomique de Tunisie, toutes les deux de teneur moyenne en azote, l'azote assimilable est abondant en automne après la jachère et même après une autre culture (L. Y., 1929b et 1930c) [1]; pour en profiter, il faut employer des variétés qui permettent des semailles suffisamment précoces, au début de novembre; nous avons énoncé que l'application automnale de l'azote est sans influence sur le rendement. Quant à l'application au printemps, les essais sont peu nombreux; ils permettent quelques conclusions que nous allons donner plus loin.

Comme nous l'avons indiqué dans une de nos notes (L. Y., 1930 d)

(1) On trouvera l'extrait de ces notes Chap. A, § I, c) et d).

précédentes, plusieurs chercheurs ont trouvé que l'application tardive des engrais azotés, au printemps, agit beaucoup plus sur la teneur du grain en azote que sur le rendement. Cependant, et on le verra dans le chapitre B, le rendement est aussi augmenté, et il importerait de continuer des essais pour être définitivement fixé sur l'importance économique de ces applications printanières des engrais azotés en couverture.

c. Dans quelle mesure le dosage des éléments fertilisants assimilables du sol peut renseigner sur le besoin en engrais

Une récolte de 25 quintaux de grain, avec la paille qui lui correspond, enlève au sol 92 kg. 5 d'azote, 27 kilos d'acide phosphorique et 112 kilos de potasse.

Les tentatives déjà anciennes et nombreuses de déterminer la quantité d'éléments assimilables qui existent dans le sol ont donné diverses méthodes qui sont à l'honneur de plusieurs agronomes-chimistes quant à leurs originalité et précision. Toutes ces méthodes chimiques contiennent quelques possibilités d'erreur; d'abord, l'estimation n'est exacte que quant à l'échantillon prélevé et au moment de ce prélèvement; or, la quantité des éléments assimilables est une grandeur variable dans le temps et suivant le travail que le sol a subi; ensuite, les dosages des éléments assimilables n'indiquent que relativement les possibilités de la récolte; pour le jugement, il est absolument nécessaire de baser des conclusions sur des études très détaillées, préalables, des rapports entre la teneur d'un type donné de sol en éléments assimilables, d'une part, et les rendements, de l'autre. Par exemple, le dosage de l'acide phosphorique d'une terre argilo-calcaire, soluble dans l'eau distillée contenant un peu d'acide carbonique, par la méthode au strychno-molybdate, donne des résultats très faibles, 2-5 kilos de $P^2 O^5$ par hectare; cependant, la récolte de blé est capable d'en absorber 27 kilos par hectare dans ses parties aériennes. Par contre, l'azote nitrique se trouve souvent en grande quantité, dépassant les besoins de la récolte, sans compter qu'en cours d'hiver les pluies apportent encore de l'azote assimilable et que les microbes du sol en fournissent également. Cette abondance d'azote assimilable détermine de bonnes récoltes, mais n'exclut pas la possibilité de les augmenter encore et d'améliorer leurs qualités.

Le dosage des éléments assimilables, pour devenir une méthode agronomique sûre, devrait se faire, par des méthodes préalablement bien étudiées et adoptées, pendant la durée totale de l'assolement habituel (ou, au moins, à un moment fixe de cet assolement), et être rapporté aux résultats culturaux obtenus sur cette terre. A partir de ce moment, l'étude est complète et peut servir dans l'estimation de la

capacité productive d'une terre, sous la condition de l'égalité dans la préparation du sol (labours).

Dans la plupart des cas de la pratique, on peut appliquer la méthode de l'expérimentation directe, en suivant la voie indiquée par G. Ville. La plante réagit à l'apport de certains éléments et ne réagit pas aux autres, d'où la conclusion que les premiers sont utiles, manquent au sol, et que les seconds sont superflus. Tout en ayant le grand mérite d'être simple et sûre, cette méthode, qui convient parfaitement aux agriculteurs désireux de trouver la meilleure fumure de leurs terres, peut être considérée comme insuffisante pour les buts de la recherche agricole : elle n'indique pas le pourquoi, elle ne donne pas satisfaction à l'esprit humain, avide de savoir.

Nous n'avons pas la prétention d'avoir résolu les problèmes posés. Puisse ce travail être un simple pas en avant vers l'emploi rationnel des engrais azotés.

Le dosage de l'azote nitrique dans la terre a été la base de nos recherches et nous a permis de mettre un peu de lumière dans cette question, jusqu'alors à peine ébauchée dans l'Afrique du Nord.

A. RECHERCHES SUR L'AZOTE NITRIQUE DU SOL

I. Azote nitrique dans deux terres nord-africaines

Un agronome qui arrive de France dans l'Afrique du Nord est étonné que ni les anciens agronomes du pays, ni les agriculteurs ne lui donnent des précisions sur l'emploi des engrais azotés. Si l'on peut encore avoir des renseignements assez exacts sur l'emploi des engrais phosphatés et potassiques, l'azote est un élément de discussion, un élément sur lequel les opinions ne concordent pas.

G. André, de l'Institut National Agronomique de Paris, a exprimé l'opinion que la fixation de l'azote dans les terres nord-africaines est considérable et que cette quantité pourrait être suffisante pour les besoins des récoltes des céréales en azote.

I. Pouget, Professeur à la Faculté d'Alger, a entrepris, en 1907-1908, l'étude de l'azote nitrique dans la terre de l'Institut Agricole d'Algérie à Maison-Carrée et est arrivé à la conclusion que les céréales manquent d'azote au printemps.

Depuis, les essais de E. Miège, au Maroc, permettent la conclusion que les engrais azotés ont une action généralement favorable, surtout si leur application a lieu aux semailles.

Quelques premiers essais de l'application automnale des engrais azotés sur les céréales à Maison-Carrée ne nous ont pas donné les

résultats espérés. Puisque les expériences ont été réalisées soigneusement et correctement, il était impossible de ne pas en tenir compte; on a été obligé de conclure à la suffisance de l'azote dans la terre ou à l'inefficacité des applications automnales des engrais azotés.

En 1927-28, nous avons commencé à chercher la cause de la non-réussite de nos premiers essais en déterminant les quantités d'azote assimilable du sol, nous engageant ainsi sur la voie de I. Pouget.

A partir de 1928, quatre ans d'études au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, à L'Ariana, nous ont permis de développer et compléter les recherches précédentes. Nous réunissons dans ce chapitre toutes les données obtenues par la détermination de l'azote nitrique du sol.

a. Choix de la méthode de dosage

La forme la plus assimilable d'azote du sol est l'azote nitrique. Il n'est pas retenu par le pouvoir absorbant du sol. Pour le mobiliser, une simple agitation de la terre avec l'eau distillée est suffisante.

Les méthodes de dosage de l'azote nitrique sont nombreuses. Quelques méthodes colorimétriques permettent la détermination exacte de l'azote nitrique en opérant sur 0 mgr. 1 :

la méthode avec le réactif de Grandval et Lajoux : acide sulfophénique;

la méthode avec la brucine, citée par Guedroïtz;

la méthode par la diphénylbenzydine (id.).

Deux méthodes sont proposées pour le dosage de l'azote nitrique après la transformation en azote ammoniacal :

1) par le réactif Dewarda, avec le dosage de l'azote ammoniacal par le réactif de Nessler (Woïdich);

2) par l'action de l'acide sulfurique sur le fer réduit (R. Lucas et W. Huschberger).

La transformation de l'azote nitrique en azote ammoniacal présente l'inconvénient de faire, au préalable, une détermination supplémentaire de l'azote ammoniacal.

Si l'on veut opérer sur de grandes masses de terre et de forts volumes de liquide, on peut appliquer la méthode classique de Schloesing par la mesure du volume de NO obtenu par l'action de l'acide nitrique du sol sur le chlorure ferreux en présence d'acide chlorhydrique.

La méthode de Pelouze, plus élégante, ne paraît pas convenir à cette détermination, à cause de la réaction possible du permanganate sur les matières organiques solubles du sol.

Nous avons fait toutes nos déterminations par le réactif de Grandval et Lajoux. Notre mode opératoire est exposé à la fin de cette note.

b. Dans quelle mesure l'azote nitrique peut-il servir de critérium dans l'estimation de la productivité d'une terre ?

L'azote engagé dans les molécules de nitrate de chaux et de nitrate de potasse, dit plus simplement azote nitrique, est une forme d'azote parfaitement assimilable et non retenue par le pouvoir absorbant des terres. Sa quantité, déterminée par une analyse à un moment donné de l'année, peut exactement renseigner l'agronome sur les possibilités de fournir à la plante l'azote trouvé sous cette forme, intégralement, sous la condition que cette quantité ne soit pas diminuée par l'infiltration ou par la dénitrification. Ce raisonnement explique pourquoi les plus célèbres stations agronomiques, comme Grignon en France, et comme Rothamsted en Angleterre, et les plus grands agronomes, ont étudié avec tant d'attention la quantité d'azote nitrique dans les terres et les eaux d'infiltration, ainsi que l'intensité de la dénitrification et de la fixation de l'azote.

La quantité d'azote nitrique n'est pas toute la disponibilité d'une terre; cette terre continue à subir la désagrégation des molécules compliquées de ses matières organiques azotées, continue à reformer ses amides et son azote ammoniacal, qui sont transformés, au fur et à mesure de leur production, en azote nitreux et nitrique. Ainsi, un champ qui, pour une raison quelconque, ne contient que peu d'azote nitrique aux semailles, peut cependant être très fertile, parce qu'il est pourvu d'une quantité suffisante d'engrais ou de matières organiques aptes à une décomposition rapide.

Mais si, dans la même région climatérique, nous voulons comparer la fertilité de quelques terres différentes, dont les labours ont été faits avec les mêmes soins, les quantités d'azote nitrique présentes dans des échantillons prélevés au moment des semailles seront en rapport avec la fertilité (capacité de production) de ces terres. Comme nous ne cultivons dans le sol aucune espèce définie de microbes, nous avons affaire à l'ensemble de la population microbienne, et cet ensemble a ses exigences moyennes. Il fournit, comme résultante, une certaine quantité d'azote nitrique, qui peut servir (si nous considérons la dénitrification comme nulle) de critérium de fertilité, dans la même mesure que la quantité d'acide carbonique dégagée par le sol, que de nombreux auteurs considèrent comme indice certain de la fertilité.

Pour démontrer que ce raisonnement est valable, nous présentons ici les rendements en blé, à la batteuse, au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, en 1930-31 (tableau 2).

TABLEAU 2

Influence de l'azote nitrique contenu dans la couche de 0 à 90 cm. de profondeur d'un hectare sur le rendement en blé

(Service Botanique et Agronomique de Tunisie, 1930-31)

ASSOLEMENT ADOPTÉ : 1) jachère. 2) blé. 3) jachère. 4) blé. 5) vesce. 6) blé, ou orge, ou avoine.

Place dans l'assolement	Azote nitrique en kilos par hectare	VARIÉTÉ	Rendement en grain par hectare	Moyenne
		Blés durs		
				Qx.
4	120	Biskri Ac^3	13.2	
4	id.	Hamira Ac^5	13.9	
4	id.	Sbei 7	13.7	14.06
4	id.	Mahmoudi Ap^3	14.4	
4	id.	Mahmoudi Ap^4	15.1	
6	44	Abiod 195	9.2	9.20
		Blés tendres		
				Qx.
2	120	Baroota 52	16.1	
2	id.	Pusa × Florence 380	19.8	
2	id.	— — 381 b	18.5	
2	id.	— — 381 c	20.7	17.50
2	id.	— — 387	20.6	
2	id.	Florence 135	13.7	
2	id.	Richelle × Florence	14.4	
4	id.	Pusa × Florence 381 a	16.4	
6	44	Richelle 110 c	8.0	
6	id.	Irakié 231	8.5	9.35
6	id.	Mahon 124 A	10.9	
6	id.	— 73	10.0	

Il est préférable de ne comparer que les blés tendres entre eux et les blés durs entre eux, également.

Il ne s'agit pas de démontrer une proportionnalité, mais une corré-

lation positive. L'importance de l'azote nitrique peut être démontrée par le raisonnement suivant :

Prenant l'exemple du blé tendre, nous pouvons considérer le rendement moyen de 17 qx 5 comme étant donné par deux formes d'azote :

1) azote nitrique existant au moment des semailles, 120 kilos dans la couche de 90 centimètres de profondeur d'un hectare, et 2) par les autres formes d'azote. En mettant qu'un kilo d'azote nitrique produit (en année normale) N kilos de grain, et qu'un kilo d'autres combinaisons azotées produit A kilos, nous avons deux équations :

$$120\ N + X\ A = 1.750 \text{ kilos;}$$
$$44\ N + X'A = 935 \text{ kilos.}$$

Par soustraction et en admettant X=X' (nous verrons plus loin qu'en le faisant on ne commet pas une grande erreur) :

$$76\ N = 815 \text{ kilos de grain;}$$
$$N = 10 \text{ kilos } 724.$$

1 kilo d'azote nitrique existant dans le champ au moment des semailles est capable de produire 10 kg. 3/4 de grain.

$X\ A = 1.750 - (10.724 \times 120) = 463$ kilos de grain; ce chiffre indique quelle serait la productivité de notre terre si elle était travaillée négligemment et sans prendre de soins pour y accumuler de fortes quantités d'éléments assimilables; 463 kilos de grain, c'est, en effet, le chiffre voisin du rendement moyen d'une culture arabe, quand le labour est superficiel, mal fait et précède immédiatement les semailles.

Le blé dur donne des résultats assez différents, mais la comparaison avec une seule variété cultivée à la sixième place de notre assolement est hasardeuse [1].

Evidemment, un exemple ne justifie pas une règle, mais il est utile de le signaler à l'attention, afin que la règle ait quelques chances d'être formulée.

Le problème pour le $X\ A$ reste pour le moment insoluble.

---

(1) Les années précédentes, la sixième place était réservée pour l'orge et l'avoine exclusivement, et la comparaison des rendements des divers champs d'assolement devient impossible.

c. Azote nitrique dans des terres a Maison-Carrée (*Etude de* I. Pouget *et* Guiraud)

La première étude de l'azote nitrique dans la terre d'un champ en Afrique du Nord est due à Pouget et Guiraud (1909). Nous lui empruntons les chiffres qui se rapportent à la teneur des terres en azote nitrique.

Deux endroits ont été choisis dans les parties homogènes de deux champs de blé de l'Institut Agricole d'Algérie, à Maison-Carrée; ces endroits ont été laissés sans végétation et sans travail pendant toute la durée de la culture; les analyses d'échantillons prélevés jusqu'à la profondeur de 0^m 50 ont donné les résultats indiqués dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3

Azote nitrique, en milligrammes par kilogramme de terre sèche dans deux échantillons de terre, à Maison-Carrée (Alger)

(Pouget et Guiraud)

	1907	1908				
	18 décembre	15 janvier	22 janvier	29 janvier	12 février	27 février
Echantillon A...	1.0	»	5.5	»	2.5	»
— B...	»	2.9	»	6.2	2.1	1.5

	1908						
	30 avril	8 mai	22 mai	6 juin	13 juin	20 juin	2 juillet
A.....	Traces	Traces	1.6	»	5.4	3.6	2.7
B.....	Traces	Traces	3.7	6.3	7.6	7.3	6.0

En calculant, d'après ces chiffres, la quantité d'azote nitrique d'un hectare, nous avons pu dresser la courbe présentée par le graphique 3.

On voit nettement que la couche intéressée est pauvre en azote nitrique en mars, avril et début de mai, à cause de pluies abondantes d'hiver et de printemps.

Etude faite à l'Institut Agricole d'Algérie

Nous avons entrepris quelques déterminations de l'azote nitrique, également à Maison-Carrée, en 1927-28, en titre de première reconnaissance. Les échantillons ont été prélevés dans la vigne, sur une légère pente, à sol rouge (échantillon A); et dans la vigne, également, sur un endroit plat, à sol presque noir (échantillon B). Les analyses de ces échantillons ont montré la composition suivante :

Echantillon	Gravier	‰ DE TERRE FINE									
		ANALYSE PHYSIQUE						ANALYSE CHIMIQUE			
		Sable grossier		Sable fin		Argile et organ.	Humus	Az	P_2O_5	K_2O env.	CaO
		siliceux	calcaire	siliceux	calcaire						
A	18	375	0	344	12.5	268.5	6.1	1.21	0.82	3	7.0
B	40	328	4,2	342	9	316.8	6.5	1.05	0.75	3	7.5

Nous avons indiqué, dans l'Introduction, les conditions météorologiques de l'année, qui a été particulièrement humide. Les dosages de l'azote nitrique effectués sur les échantillons prélevés dans les endroits sans mauvaises herbes (arrachées par nos soins) peuvent être considérés comme obtenus dans une jachère, parce que la vigne est, en hiver, à l'état de repos.

Les résultats de nos analyses, peu nombreuses, sont réunis dans le tableau 4 (v. page suivante) (voir aussi graphique 4).

Les résultats obtenus ne sont pas les mêmes que ceux de Pouget et Guiraud, quoique l'allure générale des courbes est sensiblement pareille. Nous avons des valeurs plus grandes, malgré que nous ayons opéré sur 30 centimètres de profondeur seulement. L'écart entre les deux résultats peut s'expliquer par ce que la vigne désherbée doit avoir à peu près le même régime d'azote nitrique que la jachère; tandis que l'expérience de 1908 a été conduite sur des parcelles sans plantes également, mais non travaillées. Si, dans une jachère, la plus faible teneur en azote nitrique correspond à la fin de février et au début de mars, dans une terre tassée par les pluies et non travaillée, le minimum correspond aux mois de mars et avril.

Nos analyses permettent de constater que la jachère (= vigne désherbée), à Maison-Carrée, où les terres sont dépourvues de calcaire libre (aucune réaction au calcimètre), se montre cependant active

Tableau 4

Azote nitrique, dans la vigne désherbée, à Maison-Carrée, dans la couche de 0 à 30 cm. de profondeur, en 1927-28

DATES	TERRE	AZOTE NITRIQUE en milligr. par kilo de terre sèche	AZOTE NITRIQUE en kilos par hectare
19 Novembre	A	29.0	95.70
19 Janvier	A	4.2	13.86
24 Février	B	1.6	5.28
8 Mars	A	2.6	8.58
29 Mars	B	4.2	13.86
12 Mai	B	7.1	23.43
15 Juin	B	14.4	47.52

quant à la vie microbienne et capable d'accumuler, vers l'automne, une forte quantité d'azote nitrique. Les pluies d'hiver entraînent les nitrates dans le sous-sol. L'enrichissement en azote nitrique commence avec l'arrivée des chaleurs du printemps, qui réveillent l'activité des microbes. Nous avons trouvé plus de 45 kilogrammes d'azote nitrique, le 15 juin.

Les deux études ont été arrêtées à ce moment de l'année.

d. Azote nitrique dans les terres du Service Botanique et Agronomique de Tunisie

Les terres du Service Botanique et Agronomique de Tunisie sont argilo-calcaires.

Nous avons choisi, pour l'étude du régime de l'azote nitrique, des endroits où elles sont profondes, sans croûte, avec une composition approximative de 30 % de calcaire et 25 % d'argile, donc suffisamment perméables et assez légères, de couleur brune, ayant une teneur en azote de 1 à 1,4 % et en acide phosphorique ($P^2 O^5$) de 1,1 à 2,8 % [1].

(1) Les résultats de nos travaux ont paru, au fur et à mesure de leur obtention, dans des notes différentes (L. Y., 1929 b, 1930 c, 1930 b), mais nous préférons les réunir tous dans cette note qui servira pour établir le total de nos connaissances sur la question de l'azote nitrique dans les terres du littoral de l'Afrique du Nord.

Le régime de l'azote nitrique a été étudié d'abord dans le champ réservé aux besoins du Laboratoire de Génétique, où l'assolement est biennal : jachère et blé. Les prélèvements intéressaient trois couches, de 30 centimètres de profondeur chacune. Au total, la couche étudiée est de 90 centimètres, dans les conditions de grande culture et sans addition d'aucun engrais chimique **(1928-29).** Les résultats de cette étude, déjà publiée (L. Y., 1930 a et 1930 c), sont réunis dans le tableau 5 ci-après. On remarquera quelques irrégularités dans les valeurs obtenues; nous avons eu l'occasion d'en parler longuement dans des notes précédentes (L. Y., 1929 b, page 34; 1930 c, p. 226-228); bornons-nous à dire que ces écarts sont dus un peu au chimiste, beaucoup plus à l'inégalité des sols, de leur préparation, de la répartition des mauvaises herbes; et aux accidents de toute nature qui peuvent diminuer ou augmenter la quantité d'azote nitrique, comme, par exemple, un léger abaissement du niveau ou un apport de matières nitrifiables quelconques. Ces irrégularités sont inévitables et n'empêchent d'ailleurs pas l'étude du phénomène qui nous intéresse.

Le graphique 5 permet de comprendre pourquoi l'assolement biennal jachère-blé a une si grande faveur en Tunisie. Il permet d'exécuter tous les travaux de ferme en temps opportun avec le minimum de main-d'œuvre et d'attelages (ou tracteurs); en même temps, il enrichit la terre et la rend capable de nourrir une forte récolte de blé. En prenant la moyenne de nombreuses analyses, nous pouvons affirmer que la quantité d'azote nitrique accumulée dans la couche de 90 centimètres par hectare est de 120 à 125 kilos.

L'azote nitrique s'accumule principalement dans la couche supérieure, qui, quoique plus sèche que les autres, est mieux aérée. Les couches inférieures accusent également un assez sensible accroissement [1].

Les pluies d'automne commencent à entraîner les nitrates du sol dans la profondeur. Sur le graphique, on les voit disparaître d'abord (en janvier) de la première couche, ensuite (en mars) de la deuxième et enfin (en avril) les trois couches ne contiennent, ensemble, qu'une dizaine de kilos d'azote nitrique. Le blé, qui se développe surtout en mars et avril, même si le semis a été fait en novembre, contribue

(1) Remarquons, en passant, que ce n'est pas un hasard de dosage, mais bien une réalité : la couche de 60 à 90 centimètres de profondeur se montre aussi active que la précédente; non seulement elle contient presque autant d'azote nitrique que celle de 30 à 60, mais souvent elle est plus riche en matières organiques que cette dernière. Il y a là un phénomène pédologique très curieux dû à la combinaison heureuse de la température et de l'humidité à cette profondeur. Cette couche fertile et profonde peut se trouver à une profondeur variable, et cette position variable rend les chiffres du tableau assez irréguliers.

TABLEAU 5

Azote nitrique durant la jachère et la culture du blé, au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, en 1928-29

DATES	EN MILLIGR. PAR KILO DE TERRE SÈCHE		EN KILOGRAMMES PAR HECTARE	
	JACHÈRE	BLÉ	JACHÈRE	BLÉ
13 Décembre	Couche 0.30 cm. 30.60 60.90	9.63 9.97 7.90	Couche 0.30 cm. 30 60 60.90 TOTAL 0.90	31.148 42.472 33.654 107.274
21 Janvier		1.06 7.33 13.86		3.500 31.153 58.758 93.411
19 Mars		1.36 1.45 2 80		4.485 6.163 11.900 22.548
8 Avril	1.31 1.98 1.89	0.65 1.03 1 44	4.320 8.415 8.033 20.768	2.145 4.378 6.120 12.643
1er Mai		0.77 0.72 1.14		2.541 3.060 4.845 10.446
10 Mai	6.92 1.32 1.44		22.823 5.623 6.134 34.593	
4 Juin	7.30 2.61 3.55	1.53 0.59	31.098 11.119 15.123 57.340	5.049 2.513
24 Juillet	12.18 5.02 5.71	4.63 1.75 0.96	40.194 21.363 24.333 85.890	15 272 7.455 4.073 29.800
23 Septembre	25.47 6.07 4.23	3.66 1.53 1.13	84.060 25.860 18.000 127.920	12.080 6.520 4.814 23.414
15 Octobre	23.41 3.12 2.57		77.250 13.290 10.950 101.490	

également à cette disparition. Comme il est important de connaître exactement les disponibilités du sol en azote nitrique au mois d'avril surtout, nous sommes obligé de dire que le dosage des faibles quantités d'azote nitrique dans le sol fournit régulièrement des chiffres un peu forts : la solution colorée est un peu trouble, et l'augmentation de son opacité se traduit par une erreur dans la lecture colorimétrique. Nous avons pris des précautions plus grandes en 1929-30, et le graphique suivant indique, au mois d'avril, des teneurs plus faibles en azote, que l'on peut fixer à 2 kg. 250-3 kilos par hectare pour l'ensemble des trois couches étudiées.

En comparant l'accroissement de la teneur en azote nitrique dans la jachère à Maison-Carrée et à L'Ariana (graphiques 4 et 5), on constate que les premiers 30 centimètres de ces terres, très différentes et dans des conditions de pluviométrie inégales, ont une teneur assez comparable.

Ayant ces données concernant la jachère et le blé, nous avons entrepris **(1929-30)** l'étude des autres champs de l'assolement du Service Botanique et Agronomique, qui est : 1) jachère, 2) blé, 3) jachère, 4) blé, 5) vesce, 6) blé, ou orge, ou avoine. Les analyses sont en nombre relativement faible. Elles ont été présentées, avec les explications nécessaires, dans une note précédente (L. Y., 1930 c), en comparaison avec une terre inculte de même composition.

Cette étude a été faite sur des champs différents du Service et, à cause de cela, doit avoir moins de précision que l'étude antérieure. Mais elle donne cependant des indications qui paraissent logiques.

Les résultats obtenus sont représentés par le graphique 6, dont la partie supérieure correspond à l'assolement biennal déjà étudié (graphique 5) et auquel nous avons ajouté quelques résultats obtenus dans les champs de vesce et de blé (partie inférieure).

Pour ne pas répéter inutilement les chiffres du tableau 5, qui se rapportent aux quatre premières années de notre assolement de six ans, nous nous bornons à présenter, dans le tableau 6 ci-après, ceux qui se rapportent aux deux dernières années de l'assolement. Il est nécessaire de remarquer, cependant, que la partie de la courbe de la jachère travaillée, dès le mois de juin et au mois de février, sur ce graphique, est inférieure à celle du graphique 5; c'est parce que quelques analyses faites sur les échantillons prélevés dans les champs de culture ordinaire nous ont donné des résultats plus faibles que les précédents relatifs au champ de la station de génétique, qui est particulièrement bien travaillé.

En examinant le graphique, la première chose qui frappe, c'est l'énorme différence qui existe entre la teneur en azote nitrique dans

TABLEAU 6

Azote nitrique dans les champs de vesce et de blé de l'Assolement du Service Botanique et Agronomique, 1929-30

EN MILLIGRAMMES PAR KILO DE TERRE SÈCHE					EN KILOS PAR HECTARE		
Date	Couche	Vesce	Blé	Inculte	Vesce	Blé	Inculte
21 Juillet	0.30	4.63	5.08		15.270	16.755	
	30.60	1.75	0.54		7.455	2.300	
	60.90	0.96	0.81		4.075	3.440	
					26.800	22.495	
23 Septembre	0.30	3.66		2.90	12.080		9.600
	30.60	1.53		1.03	6.520		4.400
	60.90	1.13		0.62	4.814		2.600
					23.414		16.600
15 Octobre	0.30		11.10			36.630	
	30.60		1.15			4.900	
	60.90		0.77			3.280	
						44.810	
4 Décembre	0.30		4.40	1.10		14.520	0.425
	30.60		1.56	0 40		4.645	1.705
	60.90			0.70			2.980
						26.5 env.	5.110
24 Mars	0.30	0.643	1.10	0.72	2.120	3.500	2.365
	30.60	Abs		0.27	abs		1.465
	60.90	Abs		0.46	abs		1.950
					3k. env.	5k. env.	5.480
26 Avril	0.30	0.86			2.830		1.920
	30.60	0 33			1.385		1.980
	60.90	0.36			1.535		1.230
					5.750		5.130
23 Mai	0 30			1 08			3.555
	30·60			0.55			2.325
	60.90			0 51			2.170
							8.050

la même terre suivant les travaux qu'elle a reçus. Ainsi, la jachère qui est marquée, sur le graphique 6, « jachère travaillée », reste le plus souvent en repos ou ne reçoit qu'un déchaumage jusqu'en novembre; c'est à partir de ce moment qu'elle devient vraiment travaillée; elle reçoit d'abord un labour profond, puis des façons superficielles plus ou moins nombreuses, suivant la pluviométrie de l'année. L'absence de travail se traduit par l'absence d'azote nitrique, et une préparation moyenne de la terre par les labours répétés fournit près de 120 kilos d'azote nitrique par hectare.

C'est également à la qualité du travail du sol que l'on doit attribuer les différences enregistrées entre la teneur du champ de vesce (5e) et celui du blé (6e place de l'assolement). La vesce est coupée au début d'avril; la terre est labourée immédiatement après la rentrée du fourrage, quand elle est encore relativement humide et se travaille convenablement. Tandis que le blé libère le champ tard (coupé le 1er juin environ, rentré vers le 20 juin), la terre est sèche et se prête mal à une bonne préparation. Nous enregistrons près de 30 kilos d'azote nitrique par hectare après le blé (4e) et près de 45 kilos après la vesce.

Désirant donner plus de précision à nos chiffres, nous avons continué l'étude de l'azote nitrique dans les champs 4e, 5e et 6e de l'assolement. Nous avons obtenu, en été **1931,** les résultats réunis dans le tableau 7 ci-après.

On constate, cette année, une teneur plus forte des champs en azote nitrique. Il y a deux causes de ces écarts que nous pouvons déceler. La première est imputable au déplacement des champs d'un terrain moins fertile sur un terrain de fertilité meilleure; nous avons obtenu ces résultats sur des terres dont la composition physique diffère peu, mais l'analyse chimique est :

Az. nitrique obtenu après la vesce	ANALYSE DES TERRES			
	Az	P_2O_5	K_2O	MgO
1929-30, 45 kilos	1.05	1.2	4.1	7.5
1930-31, 70 —	1.24	2.6	3.8	6.6
1930-31, 72 —	1.41	2.6	3.5	7.3

La deuxième cause est la meilleure préparation des terres, grâce à l'acquisition d'une charrue à disques et d'un tracteur. Les résultats des analyses sont supérieurs, en fonction de ces deux modifications.

Le contrôle de nos chiffres de 1930 par les analyses de 1931 indique que les chiffres peuvent varier avec la composition physique du sol, sa composition chimique et la préparation de la terre par les instruments aratoires.

TABLEAU 7

Azote nitrique dans les champs de l'assolement du Service Botanique et Agronomique de Tunisie. Dosages de 1931

EN MILLIGRAMMES PAR KILO DE TERRE SÈCHE						EN KILOGRAMMES PAR HECTARE			
Date	Couche	Avant la vesce	Après la vesce		Après le blé de 6me sole	Avant la vesce	Après la vesce		Après le blé de 6me sole
8 juillet	0-30	4.09	4.32	4.49	1.47	13.500	14.255	14.815	4.850
	30-60	2.50	4.46	3.60	1.73	10.650	19.000	15.335	7.370
	60-90	1.92	3.73		1.51	8.180	15.890		6.430
						32.330	49.145	45 k. env.	18.650
17 septembre	0-30	5.17			1.81	17.060			5.975
	30-60	1.62			0.70	6.900			2.980
	60-90	1.76				7.500			
						31.460			12 k. env.
23 octobre	0-30	12.24	13.10			40.390	43.230		
	30-60	2.35	2.40			10.040	10.225		
	60-90	1.37	1.20			5.835	5.110		
						56.235	58.565		
25 novembre	0-30	14.38	15.00		3.00	47.455	49.500		9.900
	30-60	2.43	1.38		1.06	10.350	5.880		4.515
	60-90	3.37			0.88	14.355			3.750
						72.160	70 k. env.		18.165

Cependant, les chiffres obtenus renseignent suffisamment. En écartant les résultats de 1931 obtenus dans une terre trop riche, on peut se fier, sans erreur considérable, aux chiffres du tableau 6; et l'on peut considérer le graphique 6 comme répondant assez bien à une terre de fertilité moyenne.

Le travail du sol paraît maintenir la fertilité d'une terre donnée à un certain niveau. Si la jachère jouissait autrefois d'une grande (et méritée) réputation comme moyen de relever la fertilité, nous pensons que le remplacement du mot « jachère » par le mot « travail » ou « préparation du sol » soit possible, dans une certaine mesure au moins.

En effet, la théorie de dry-farming, si bien développée dans l'ouvrage universellement connu de Widstoe, attribue à la jachère le rôle principal de l'enrichissement de la terre en eau. C'est indiscutablement démontré. Mais l'humidité de la terre n'explique pas tout. Au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, nous avons trouvé, le 23 septembre 1929 :

	HUMIDITÉ		TENEUR en AZOTE NITRIQUE en kg par hectare	
	Inculte	Jachère	Inculte	Jachère
Couche de 0 à 30 centimètres...	7.5	10.0	9.6	84.1
— 30 à 60 — ...	12.6	12.8	4.4	25.9
— 60 à 90 — ...	14.3	14.4	2.6	18.0
Total de 0 à 90 — ...			16.6	128.0

L'humidité est presque égale, mais la fertilité, dont on peut juger d'après la teneur en azote nitrique, est bien supérieure dans la jachère prête à recevoir le semis.

Si l'on compare l'humidité de la jachère à celle d'un champ ayant donné une récolte, on trouve régulièrement une certaine différence. A titre d'exemple, nous donnons ci-dessous les résultats de quelques déterminations faites, malheureusement, dans des terres non-identiques, quoique semblables, et en quantité insuffisante (v. tableau 8 ci-après).

La jachère conserve la plus grande humidité, mais, en comparaison avec les autres soles, nous trouvons, au mois de juillet, une différence plutôt faible; seul, le champ qui a donné le blé après la jachère a eu

TABLEAU 8

Humidité dans les différents champs du Service Botanique et Agronomique

		JACHÈRE	BLÉ	VESCE	BLÉ	INCULTE
1930						
	0-30...	14.2	12.1	8.8		14.1
26 avril	30-60...	14.0	14.2	11.8		16.0
	60-90...	16.2	15.2	13.1		16.7
	0-30...	13.2				10.2
23 mai	30-60...	13.5				12.2
	60-90...	14.6				13.5
	0-30...	10.3		6.3		
21 juillet	30-60...	12.3		11.2		
	60-90...	13.6		12.9		
1931						
	0-30...		4.9	5.3	6.0	
8 juillet	30-60...		5.5	10.8	11.1	
	60-90...		6.7		11.2	
	0-30...		3.9	4.6	5.9	
17 septembre	30-60...		7.0	8.8	11.9	
	60-90...		6.2	9.7		
	0-30...		8.7	10.3		
23 octobre	30-60...		7.6	9.6		
	60-90...		7.8	9.4		
	0-30...		10.9	11.2	12.2	
25 novembre	60-90...		8.4	8.9	11.1	
	60-90...		8.5		12.2	

une dépense d'eau tellement forte qu'elle reste nettement marquée jusqu'à l'automne.

Cependant, la faible humidité du sol ne cause pas l'arrêt complet de l'activité microbienne, puisque l'accumulation de l'azote nitrique persiste, pourvu que la terre soit bien labourée. On peut supposer que parfois, comme en été 1931, les jours trop chauds et les vents desséchants provoquent un certain ralentissement dans l'accumulation de l'azote nitrique, mais les vents humides, les pluies et les rosées d'automne donnent de nouveau la possibilité aux microbes de reprendre leur travail.

Il ressort de nos analyses que l'enrichissement des terres en azote nitrique pendant l'été dépend surtout du travail du sol. Nous employons ce terme des praticiens sans chercher d'explication plus exacte; en effet, nous ignorons la répercussion du travail du sol; agit-il uniquement sur l'aération ? provoque-t-il une dessiccation des couches labourées tellement intense qu'un grand nombre d'habitants du sol sont détruits en laissant leur azote et leur acide phosphorique aux survivants et aux plantes ? Probablement, les deux suppositions sont exactes. Pour le moment et pour cette partie de notre exposé, nous nous contenterons de donner raison à cet agriculteur qui, ayant une longue expérience du pays, a déclaré qu'il « fertilise la terre avec la poussière d'acier » (par le passage répété des instruments).

Pour finir ce chapitre sur le régime de l'azote nitrique dans nos terres, il convient de dire que ces résultats, résumés souvent dans des graphiques pour les rendre plus faciles à interpréter et à retenir, ont leur importance par eux-mêmes. Même si l'interprétation que nous en donnons plus loin, visant la possibilité de juger de l'opportunité de l'emploi des engrais azotés, était erronée, la connaissance des phénomènes du sol relatifs à l'azote assimilable serait néanmoins une acquisition scientifique.

e. Azote nitrique des terres d'Angleterre et de France

En effet, un agronome nord-africain verra avec satisfaction que les quantités d'azote nitrique peuvent être modifiées par le travail du sol; qu'elles sont de beaucoup supérieures à celles que le climat différent de l'Angleterre détermine dans son sol. Russell a publié les résultats des dosages de l'azote nitrique à Rothamsted, résultats que nous avons exprimés en mesures françaises : azote nitrique en kilos par hectare (au lieu de nitrate, en livres anglaises, par acre) (voir tableau 9 ci-après) :

Tableau 9

Azote nitrique dans une terre anglaise (Russell)
en kilogrammes par hectare

DATE	JACHÈRE	CULTURE	DATE	JACHÈRE	CULTURE
10 avril.....	16.04		6 août.....	26.37	
15 —	19.36		15 —	29.13	13.17
21 —	19.73	12.35	3 septembre...	29.69	
27 —	16.45		10 — ...	33.75	
13 mai.....	16.60	11.43	28 — ...	28.03	
18 —	18.44		6 octobre.....	28.03	
12 juin	18.44		10 novembre...	24.08	16.22
2 juillet.....	23.23	11.80	20 — ...	16.23	
13 —	24.71		17 décembre...	9.77	12.90
18 —	26.37		9 janvier	8.67	
27 —	24.34				

En Angleterre, la terre nue et inculte peut accuser la présence de 34 kilos d'azote nitrique par hectare (chiffre confirmé par un autre auteur (Ronna, 1900), tandis que la jachère tunisienne, dans une terre de fertilité moyenne et ne recevant pas d'engrais azotés, peut en accumuler facilement 120.

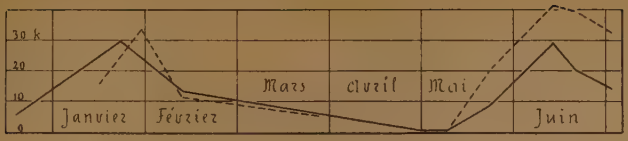
Quant aux sols français, qui devraient avoir des teneurs intermédiaires, nous trouvons chez Dehérain :

Tableau 10

Azote nitrique, en kilos par hectare, dans quelques terres françaises
d'après Dehérain

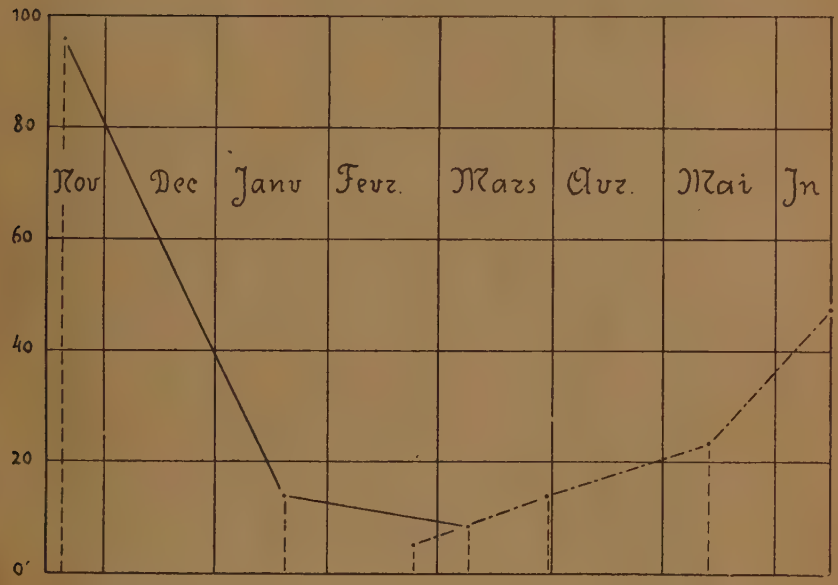
Terre de Grignon, parcelle épuisée.....	34.3
— — fumée.....	51 2
Wardrecques (Pas-de-Calais).....	107.9
Blaringhem —	128.1
Marmilhat (Limagne d'Auvergne).....	62 6
Palbost —	45.2

La teneur est donc assez élevée, surtout celle des terres bien travaillées et fortement fumées du Pas-de-Calais. Malheureusement, nous manquons de précisions sur la place de ces terres dans l'assolement et sur d'autres détails.



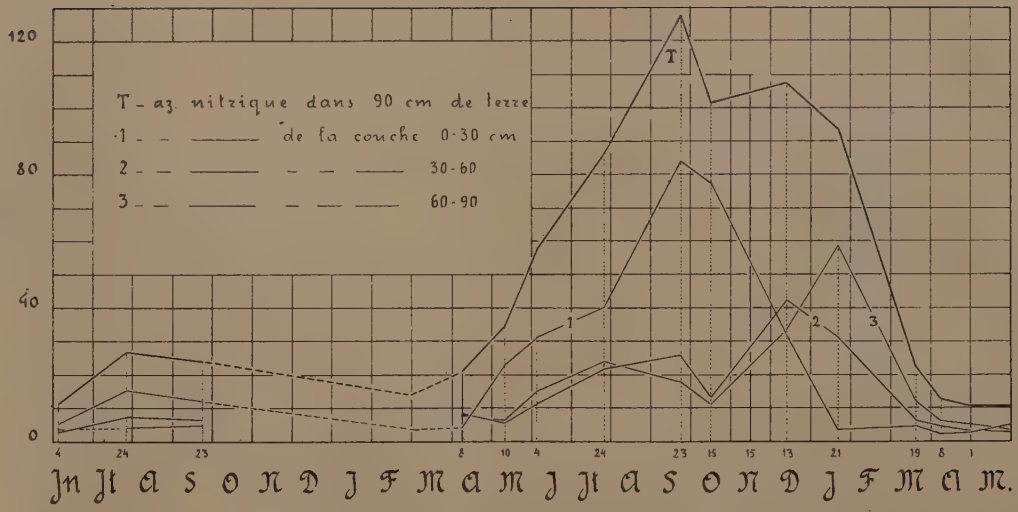
GRAPHIQUE 3. — Azote nitrique dans la couche de 0 à 45 cm. de profondeur, dans une terre de l'Institut agricole d'Algérie, à Maison-Carrée, d'après l'étude de MM. Pouget et Guiraud.

——— Echantillon A
- - - - - - - — B

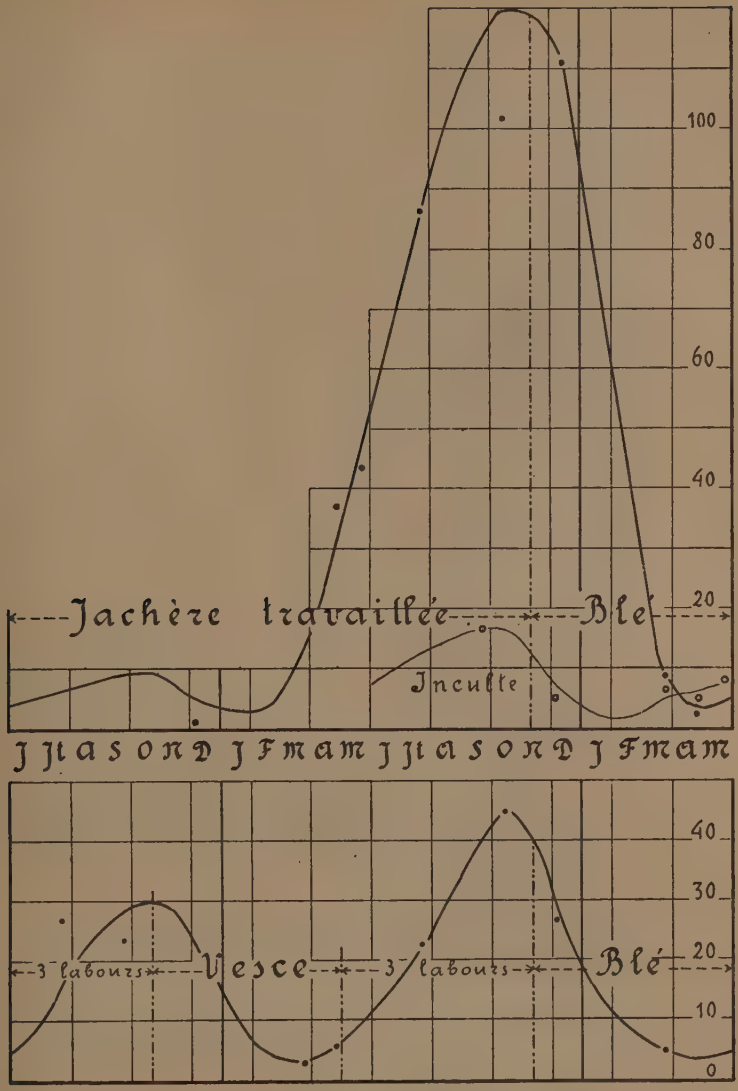


GRAPHIQUE 4. — Azote nitrique, dans la jachère, à Maison-Carrée en 1927-28, en kilogrammes par hectare, dans la couche de 0 à 30 cm. de profondeur.

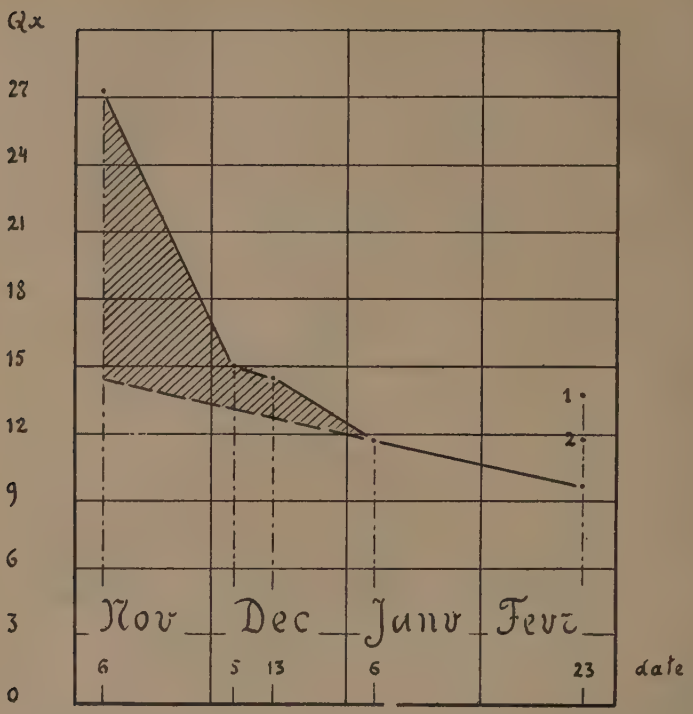
——— Echantillon A
- - - - - - - — B



GRAPHIQUE 5. — Azote nitrique dans l'assolement biennal jachère-blé, à l'Ariana, en kilogrammes par hectare.



GRAPHIQUE 6. — Azote nitrique dans l'assolement quadriennal, en kilogrammes par hectare dans la couche de 0 à 90 cm. de profondeur. L'Ariana.



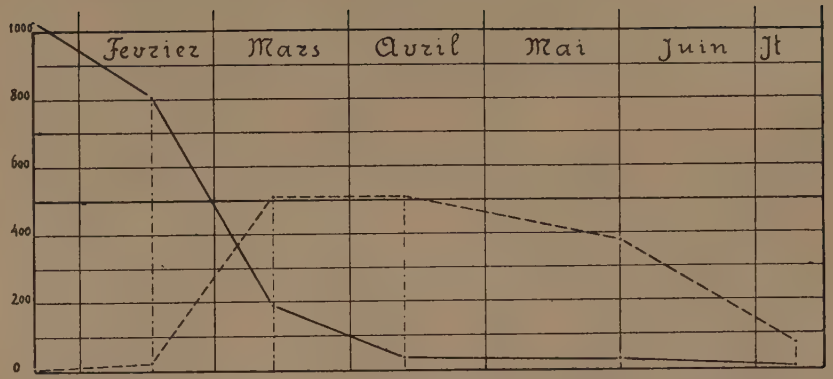
GRAPHIQUE 7. — Influence de l'époque des semailles du blé sur le rendement (courbe pleine).

Influence des engrais azotés sur le Mahon semé tardivement (le 23 février) :

1. Rendement obtenu en employant 40 kilos d'azote du sulfate d'ammoniaque quelques jours avant ce semis tardif.

2. Rendement obtenu avec 20 kilos d'azote du nitrate de chaux ammoniacal appliqué en couverture un mois après les semailles.

La partie en hachures correspond à la diminution de rendement causée par la disparition de l'azote nitrique.

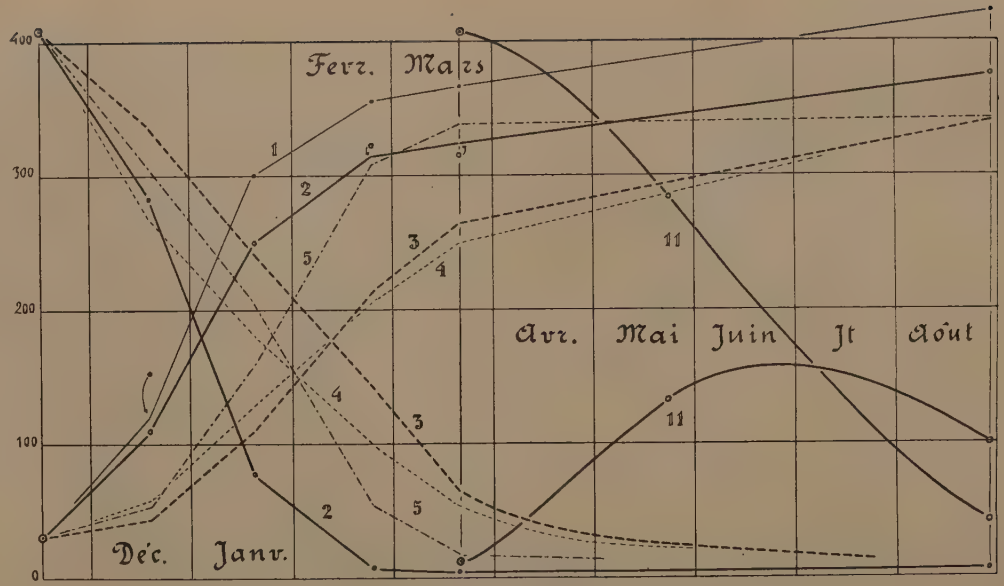


GRAPHIQUE 8. — Nitrification dans les pots. Maison-Carrée. 1928.

Azote en milligrammes par kilo de terre sèche.

———— Azote ammoniacal.

- - - - - - - — nitrique.



GRAPHIQUE 9. — Nitrification des engrais.

Service Botanique et Agronomique de Tunisie. 1930-31.

Les numéros du graphique 9 correspondent aux numéros du tableau 18 :

N° 1. — Urée.

N° 2. — Sulfate d'ammoniaque.

N° 3. — Phosphate ammoniaco-magnésien chimique.

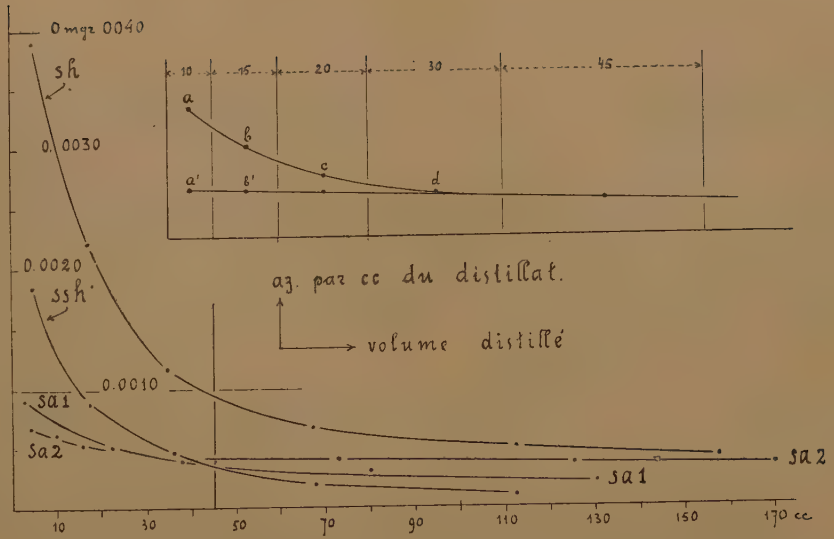
N° 4. — — — — commercial.

N° 5. — — ammo-potassique.

N° 11. — Sulfate d'ammoniaque dans une terre dépourvue de calcaire.

La courbe de disparition de l'azote ammoniacal (descendante) et la courbe d'augmentation de l'azote nitrique (montante) sont d'aspect identique pour le même engrais, pour faciliter la comparaison.

La disparition de l'azote ammoniacal de l'urée n'est pas présentée sur le graphique : elle coïncide avec celle du sulfate d'ammoniaque.



GRAPHIQUE 10. — Azote ammoniacal du sol au Service Botanique et Agronomique de Tunisie.

II. Azote nitrique dans les eaux de drainage

a. Installation du Service Botanique et Agronomique pour l'étude des eaux de drainage

Pour déterminer les pertes en azote nitrique par l'infiltration, il faut connaître la profondeur à laquelle les racines de blé pénètrent normalement dans un sol donné. Vu les difficultés que cette étude présente, il y a relativement peu de données sur cette question. Ces études ont été entreprises surtout dans les pays à pluviométrie assez grande, et les résultats obtenus sont assez discordants. C'est la preuve que les racines de blé peuvent pénétrer à des profondeurs différentes, suivant la nature du sol, son humidité, sa richesse, sa température; peut-être, également, suivant l'époque des semailles et même selon la capacité particulière de chaque variété de développer un système radiculaire plus ou moins puissant.

Nous pouvons accepter, avec Widstoe, que les céréales peuvent avoir des racines de $2^m 40$ de profondeur, voire 3 mètres exceptionnellement.

Au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, les mesures exactes n'ont pas encore été faites. D'après une coupe de terre qui avait $1^m 60$ de profondeur, nous pouvons conclure que le sol accessible aux racines a $1^m 50$ de profondeur, à cet endroit; plus profondément, nous avons trouvé un sous-sol qui se distinguait nettement par la texture, la couleur ocreuse jaune indiquant l'absence à peu près complète de matières organiques, indice que les racines n'y pénétraient guère.

Ainsi, l'étude de l'infiltration et des pertes d'azote nitrique qu'elle entraîne devrait se faire, dans notre cas, dans des récipients de $1^m 50$ de profondeur au moins. (Nous croyons que les bacs métalliques de $50^{cm} \times 50^{cm} \times 1^m 75$ de profondeur, pouvant contenir près de 500 kilos de terre, seraient convenables, mais même cette dimension est déjà trop grande pour pouvoir réaliser convenablement des pesées; ainsi, il vaut mieux adopter des caisses immobiles en ciment armé de $2^m \times 2^m \times 1^m 75$ à 2 mètres de profondeur.)

En attendant de pouvoir disposer des grandes cases de végétation qui viennent d'être construites, nous avons dû nous contenter d'une installation qui comprend une batterie de dix bacs en fer galvanisé de 1 mètre de profondeur et de $24^{cm} \times 24^{cm}$ de section (la surface est de 1/17e de m^2), contenant un prisme de terre de 90^{cm} de haut. Ces bacs sont, par conséquent, moins profonds que notre terre, mais ils le sont plus qu'un grand nombre de terres des environs de Tunis, qui reposent sur une croûte calcaire à peu près imperméable.

Ces bacs ont été remplis en 1922; la terre peut être considérée comme bien rassise et ayant acquis sa densité normale.

Pendant les trois ans que durent nos expériences, ces bacs n'ont jamais reçu d'eau autre que celle des pluies naturelles. Le travail du sol se fait avec un couteau, sur la profondeur de 10-12 centimètres.

L'utilisation des bacs pendant les trois dernières années est résumée dans le tableau 11 ci-après.

En 1928-29, nous avons entrepris l'étude des engrais phosphatés et de l'azote. Les pertes de l'azote nitrique n'ont pas été mesurées. Cette étude a été présentée dans une de nos notes précédentes (L. Y., 1930 d).

En 1929-30, nous avons laissé les trois premiers numéros en jachère; le N° 1 a servi pour l'étude de l'infiltration de l'azote nitrique de la jachère continue; les N°s 2 et 3, pour celle de la jachère après le blé.

Le N° 6 a permis l'étude de l'infiltration par un bac ayant du blé après la jachère.

Le N° 5 portait un blé en deuxième paille sans engrais azoté.

Les N°s 4, 7 et 8, un blé en deuxième paille avec des doses croissantes de nitrate de soude; la dose simple comprend 0 gr. 600 de nitrate de soude le 20 février, 0 gr. 600 le 10 mars et 0 gr. 800 le 1er avril; le N° 7 a reçu la dose double et le N° 8 a la dose triple d'engrais.

Les N°s 9 et 10 sont ensemencés tardivement et n'ont pas reçu d'azote. La dose simple de nitrate de soude apporte 330 mgr. d'azote nitrique par pot, quantité qui correspond à 56 kilos d'azote par hectare.

Les autres engrais ont été employés en quantités suivantes :

Superphosphate commercial, 9 gr. 375 par bac.

Sulfate de potasse commercial, 2 gr. 400 par bac.

Carbonate de magnésie léger, 0 gr. 600 par bac.

En 1930-31, les bacs ont reçu les engrais permettant l'étude :

N° 1 — Entraînement de l'azote nitrique par l'infiltration dans une jachère qui a reçu le nitrate de soude le 28 janvier (pour pouvoir se prononcer sur l'entraînement de l'azote nitrique par les pluies, il fallait laisser les bacs sans plantes).

N° 2 — Entraînement de l'azote nitrique par l'infiltration dans une jachère qui a reçu le sulfate d'ammoniaque aux semailles.

N° 3 — Même étude pour la jachère témoin, n'ayant pas reçu d'engrais azotés.

Les autres bacs ont servi pour étudier l'influence de l'époque d'application du sulfate d'ammoniaque sur le développement des plantes et leur rendement; le blé étant en deuxième ou en troisième pailles.

Tableau 11

Utilisation des bacs métalliques de 1 mètre de profondeur (Service Botanique et Agronomique de Tunisie) 1928-32

	1928-29					1929-30					1930-31					1931-32				
	ENGRAIS					ENGRAIS					ENGRAIS					ENGRAIS				
	Azote	Super	Scorie	Potasse	Plante	Azote	Super	Potasse	Magnésie	Plante semée le	Super	Potasse	Azote	Az. est mis le	Plante	Super	Potasse	Azote	Az. est mis le	Plante
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	NS	28. I	0	+	+	+	4 nov.	
2	0	+	0	0		0	0	0	0	0	+	+	SA	Semis	0	+	+	+	3 févr.	
3	0	+	0	+		0	0	0	0	0	+	+	0		0	+	+	0		
4	+	+	0	0		I	+	+	+		+	+	0			+	+	+	3 févr.	
5	0	0	0	0		0	+	+	+	Florence 135	+	+	0			+	+	+	4 nov.	0
6	0	0	0	0	0	0	+	+	+	1 décembre	+	+	SA	10. III		+	+	0		
7	0	0	+	0		II	+	+	+		+	+	SA	20. II		+	+	+	1/2 aut. 1/2 prin.	
8	0	0	+	+	Mahon N° II	III	+	+	+	Blé tendre	+	+	SA	3. II	Blé tendre Mahon N° II	0	0	0		0 Irakié
9	+	0	+	0		0	+	+	+	10 janvier	+	+	SA	3. I	Semis le 16 novembre	0	0	0		0
10	0	0	0	0		0	+	+	+		+	+	SA	Semis		0	0	0		0

Les N°s 9 et 10 suivent le blé, qui a été semé tardivement l'année précédente et qui a eu un très mauvais développement.

Les engrais ont été donnés en quantités suivantes : superphosphate, 6 grammes par bac, correspondant à 1.000 kilos environ par hectare, chlorure de potassium pur, 2 gr. 500, correspondant à 425 kilos environ par hectare. Sulfate d'ammoniaque apportant 500 mgr. d'azote par bac, correspondant à 85 kilos d'azote à l'hectare. Les mêmes doses d'engrais ont été conservées l'année 1931-32, sauf le chlorure de potassium, incorporé en quantité de 1 gr. 5 par bac.

b. Organisation du travail

La mensuration des pluies se fait par le Laboratoire de Météorologie du Service Botanique et Agronomique.

Quant aux eaux d'infiltration (ou de drainage), c'est notre Laboratoire qui s'occupait de leur mesure; à leur sortie par un orifice tubulaire, dans la paroi inférieure du bac, les eaux de drainage sont reçues dans un récipient en verre de 2 litres de contenance. Nous avons remarqué que les infiltrations s'arrêtent presque régulièrement deux jours après la dernière pluie. Pour diminuer le nombre d'analyses, nous cherchions à analyser à la fois toutes les infiltrations d'une période pluvieuse; c'est-à-dire, si les pluies tombaient trois jours de suite, nous mesurions l'infiltration au bout du cinquième jour. L'eau infiltrée est mesurée dans une éprouvette graduée, une certaine quantité est conservée pour les analyses, le reste est rejeté. Les verres sont remis en place, pour attendre la nouvelle période pluvieuse.

Naturellement, si les pluies étaient abondantes, la même période pluvieuse demandait deux ou plusieurs analyses, pour ne pas avoir des débordements des verres.

Il faut éviter de laisser séjourner l'eau dans les récipients, parce que les vers, les insectes, etc., viennent s'y noyer, et leur décomposition peut déterminer des erreurs.

Nous croyons avoir obtenu des chiffres auxquels on peut avoir confiance. Cependant, parfois, les oscillations entre les chiffres sont assez fortes. Il est difficile de pouvoir tout expliquer. Un limaçon ou un ver, mort dans la terre du bac, fournit déjà quelques milligrammes d'azote facile à nitrifier qui, rapportés à l'hectare, deviennent la source d'une erreur sensible. En augmentant les dimensions des bacs, on serait sans doute arrivé à rendre les chiffres plus corrects.

Une autre remarque concerne la pluviométrie, très mal répartie. Les pluies se déclenchent avec beaucoup d'intensité dans peu de jours; les récipients où l'eau de drainage se ramasse débordent pres-

que fatalement une ou deux fois par an, malgré tous les soins pour l'éviter; une fois, toute l'installation des bacs a été complètement inondée. Nous étions obligé, dans des cas pareils, de calculer la quantité d'eau qui devrait être infiltrée. La quantité calculée n'est pas une quantité mesurée, mais le calcul était soigneux et cette éventualité ne se produisait guère qu'une fois par an.

Le dosage de l'azote nitrique était effectué par la méthode décrite à la fin de cette note.

c. Infiltrations enregistrées

La répartition des infiltrations pendant les années 1929-30 et 1930-31 est indiquée dans le tableau 12 ci-après.

En 1929-30, l'infiltration commence dans tous les bacs presque simultanément, le 23 décembre, parce que, les 18, 19 et 20 décembre, on a eu plus de 40 millimètres de pluie. Le total des pluies tombées depuis le commencement de l'automne (du 1er septembre) est de 140 millimètres. Nous pouvons indiquer ce chiffre comme une première approximation. En réalité, il n'est pas exact, parce que l'apparition de petites quantités d'eau en bas du bac ne prouve pas que l'eau a imbibé la terre complètement; plus la pluie est forte, surtout quand la terre est encore sèche, plus elle a tendance à passer par les fissures du sol (ou entre les parois du vase et le bloc sec de terre). Les chiffres que nous indiquons dans le tableau sont obtenus par le calcul : connaissant le total des pluies jusqu'au 5 février, quand la terre est régulièrement imbibée, nous en retranchons l'équivalent, en millimètres de pluies, des eaux recueillies en bas des bacs. Ces chiffres indiquent la quantité de pluies nécessaires pour l'imbibition complète de la terre, malgré les évaporations par la surface de terre.

Les résultats obtenus sont assez surprenants. Si, en 1929-30, nous ne trouvons guère de différence entre les bacs, l'année suivante cette différence est bien nette; en effet, en 1930-31, la moyenne des bacs nos 1, 3, 5, 9 et 10 (des bacs maintenus en jachère ou ensemencés tardivement l'année précédente) diffère des nos 4-8 de 58 millimètres de pluies environ; c'est une quantité appréciable parce qu'elle représente 14,35 % de la moyenne des pluies annuelles.

Cette différence enregistrée entre des années différentes est due principalement à ce que les premières infiltrations de 1930-31 ont eu lieu vers le 15 décembre, quand l'humidité de l'atmosphère n'a pas eu le temps d'agir dans la même mesure que l'année précédente, avec un commencement tardif de l'infiltration régulière (le 3 février).

Tableau 12

Quantité d'eau de pluie, en centimètres cubes, infiltrée à travers la couche de terre de 90 cm.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1929-30 :										
Du 23 décembre au 1 février...	0	316	10	148	658	519	316	0	437	236
— 3 — 8 — (1).	3.625	2.719	3.668	2.561	2.459	3.695	3.695	2.582	3.718	3.642
— 14 — 21 — ...	1.275	1.330	1.244	515	481	777	777	668	1.463	1.605
Au courant de mars...	1.951	2.328	1.375	10	156	47	47	21	932	893
— d'avril.....	2.366	2.601	2.257	0	150	0	0	0	1.203	1.154
TOTAL.....	9.217	9.294	8.554	3.234	3.904	4.835	4.835	3.271	7.753	7.530
Moyenne.....	9.020			3.860					7.640	
Infiltration correspondant aux mm. de pluies.....	153			55	66	69	82	55.5	130	
Pluie nécessaire pour imbiber complètement la couche de 90 cm..	201	209	198	213	206	206	195	215	195	197
1930-31 :										
Les 24 et 26 octobre...	2.175	2.425	2.410	0	895	0	0	0	2.520	2.380
Les 4 nov. et 10 déc....	1.295	1.447	1.347	310	1.272	542	745	0	1.890	1.380
Les 18 et 31 déc. (2)....	3.035	3.345	3.235	3.025	3.102	3.100	3.060	1.245	3.315	3.570
Les 23 et 28 janvier....	2.199	2.232	2.195	1.680	2.002	1.667	1.708	1.333	2.014	25
Au courant du février..	5.565	5.793	5.692	4.140	4.930	4.363	4.072	3.250	2.860	2.040
Le 23 mars.....	395	540	425							
Le 21 mars.....	100	182	60							
TOTAL.....	14.764	15.964	15.364	9.155	12.201	9.672	9.585	5.828	12.599	8.395
Moyenne.....	15.364			»					»	
Infiltration correspondant aux mm. de pluie.....	260.5			155	207	164	162	99 (?)	213	142
Pluie nécessaire pour imbiber complètement 90 cm. de terre....	137	126	129	190	160	184	186	206 (?)	121	137

(1) Débordement de tous les récipients. Chiffres calculés. — (2) L'inondation du 18 décembre 1930 nous a obligé à recourir au calcul.

On peut envisager aussi comme cause l'inégalité des pluies d'été :

	Jn	Jt	A	S	O	N	D
En 1929.....	16	1	0	24	22	50	56
En 1930.....	10	14	0	63	82	27	105

La pluie de 14 millimètres en juillet a pu contribuer à retarder le desséchement du sol, empêchant la formation des fentes par lesquelles le vent pouvait niveller toute différence d'humidité.

Le tableau 12 montre qu'il a fallu, après la culture de blé, 180-200 millimètres de pluie pour imbiber 90 centimètres de terre.

A partir du moment où la terre est régulièrement imbibée d'eau, chaque nouvelle pluie détermine une nouvelle infiltration, en février et mars. Depuis le mois d'avril, les bacs avec plantes ne laissent plus passer l'eau de pluie; elle est utilisée entièrement pour les besoins de la récolte.

L'importance des infiltrations sera étudiée plus bas, à propos des pertes d'azote nitrique par l'infiltration, dans le § f de ce chapitre.

d. Concentration des eaux de drainage en azote nitrique

Dès que les premières gouttes d'eau d'infiltration apparaissent, l'entraînement de l'azote nitrique et de quantités très faibles d'azote ammoniacal commencent. L'azote ammoniacal est en si faible proportion (moins de 1 %) par rapport à l'azote nitrique, que nous pouvons le négliger pour le moment.

Les premières infiltrations sont pauvres en azote nitrique, en 1929-30, même dans les bacs après la jachère (tableau 13 ci-après, bacs N°s 1, 4, 5, 6 et 10).

Mais la concentration augmente rapidement, pour atteindre son maximum dès que l'eau écoulée correspond à 15-40 millimètres de pluie. Elle devient alors considérable et égale à 160 mgr. d'azote nitrique par litre après une jachère; elle est également importante dans les terres ayant donné une récolte, parce que nous y trouvons une teneur variant entre 48 et 135 mgr., en moyenne 90 mgr., au moment du passage par le maximum.

La teneur maximum en azote nitrique des eaux d'infiltration correspond aux nitrates de la couche supérieure des bacs. Pendant la descente des nitrates, une certaine diffusion a lieu, mais elle n'est pas importante, comme l'indique la concentration des eaux recueillies, qui diminue assez brusquement dans la plupart des bacs.

Au printemps, les bacs laissés en jachère continuent à conserver

TABLEAU 13

Concentration des eaux de drainage en azote nitrique, en mgr. par litre (1929 - 30)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23 décembre 1929...				1.61		2.31				0.42
14 janvier 1930.....							48.00			
1 février.....	1.29						43.50			70.50
3 —	51.39	51.00	45.90	39.00	0.30	90.00	17.10	34.20	57.00	42.00
5 —	224.00	160.00	86.00	108.00	60.00	163.30	22.32	67.30	135.00	37.00
7 —	192.00	126.00	84.00		48.00	156.00	12.00	54.48	103.68	68.04
8 —	65.25	26.25	26.94	8.05	7.90	28.88	1.14	10.20	35.03	26.25
14 —	54.00	27.03	27.60	4.44	10.35	9.75	abs	3.38	32.00	29.40
21 —	50.40	21.90	22.50	0.27	0.15	0.32	0.15	0.11	22.25	15.90
19 mars.....	33.33	15.31	17.14	0.15	0.08	0.16	0.08	0.05	11.10	8.00
26 —	16.26	8.72	10.77			abs				
15 avril.....	9.71	11.60	11.07		0.09	0.08			0.16	0.27

une certaine teneur en azote nitrique, tandis que les bacs avec plantes, où les racines arrivent à la sortie vers le 1er février, s'appauvrissent vite; les eaux n'en contiennent plus vers le 20 février : la couche étudiée a épuisé son stock; les plantes doivent chercher alors leur nourriture azotée plus profondément, ce que le sol peut libérer par la mobilisation de ses réserves azotées n'étant pas bien important, et les eaux météoriques en étant également pauvres.

Les résultats d'analyses de l'année 1930-31 sont réunis dans le tableau 14 ci-après.

La concentration des eaux d'infiltration a une autre allure que l'année précédente. Les pluies du 21 et du 24 octobre, chaque fois de 25 millimètres, ont été trop brusques pour provoquer le déplacement régulier des nitrates; l'eau s'engageait dans les fentes de la terre et dans l'espace entre le bloc de terre et les parois des bacs, entraînant la partie des nitrates qui était la plus proche de son parcours. Ainsi, les premières portions recueillies contiennent relativement beaucoup d'azote nitrique; par contre, la concentration maximum est diminuée; elle est de 75 mgr. d'azote nitrique par litre après la jachère et de 50 mgr. environ après le blé.

Connaissant la teneur de la terre en azote nitrique et en humidité, on peut calculer la concentration en azote nitrique pendant les périodes sans infiltrations; par exemple, dans la jachère où nous avons trouvé, dans la couche supérieure, de 0 à 30 centimètres, près de 80 kilos d'azote nitrique par hectare, cette concentration est, si nous prenons humidité égale à 10 %, de

$$\frac{\text{330 t. d'eau}}{\text{80 kg. d'azote}} = \text{240 mgr. d'azote nitrique par litre (au mois de septembre).}$$

Après avoir passé par le maximum, la concentration des eaux de drainage diminue assez rapidement et devient, le 7 février, égale à 4 mgr. d'azote nitrique par litre dans la jachère. Dans les bacs avec blé, nous constatons l'absence de nitrates déjà le 28 janvier.

En examinant la concentration des eaux d'infiltration en azote nitrique, nous rencontrons un phénomène assez inattendu : les différences des concentrations après la jachère et après le blé existent, comme nous l'avons vu, mais elles sont plus faibles que l'on pouvait penser *a priori*. La pluie, si elle est modérée et prolongée, agit comme un piston chassant devant lui les solutions du sol. Schloesing l'a démontré. Et comme le sol d'un bac qui a donné une récolte de blé est non seulement plus pauvre en azote nitrique, mais l'est également en eau, cette faible quantité d'eau du sol se trouve relativement chargée en azote nitrique.

Quant à l'entraînement des engrais azotés dans les couches profon-

TABLEAU 14

Concentration des eaux de drainage en azote nitrique, en milligrammes par litre

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24 octobre 1930.....	46.00	45.20	41.20	—	—	—	—	—	32.80	28.40
26 —	46.80	52.60	51.60	—	(cassé)	—	—	—	36.40	28.90
4 novembre.....	60.00	61.20	54.80	43.60	34.40	34.40	89.80	—	46.20	36.60
10 décembre.....	85.60	68.80	68.00	47.20	26.80	23.08	54.64	—	54.40	43.20
18 —	50.48	45.74	38.52	29.00	21.20	18.60	42.84	49.88	33.12	45.16
31 —	15.12	13.08	4.68	3.50	7.35	perdu	4.56	13.13	7.00	11.52
23 janvier 1931.....	6.48	7.12	5.53	0.42	3.75	0.30	0.50	0.65	0.71	abs.
28 —	5.15	5.50	4.09	0.13	1.46	tr.	0.07	0.06	0.19	abs.
7 février.....	3.64	4.65	3.35	0.06	0.35	tr.	0.06	tr.	0.08	abs.
14 —	3.95	6.00	4.08	f. tr.	f. tr.	abs.	abs.	abs.	abs.	traces
16 —	3.09	8.80	3.53							
21 —	8.00	75.20	15.00							
23 mars	7.37	56.60	6.72							
22 mai	34.17	100.75	20.94							

des, le sulfate d'ammoniaque appliqué aux semailles arrive à la profondeur de 90 centimètres le 21 février et continue à enrichir les eaux d'infiltration en azote nitrique jusqu'en mai. Le nitrate de soude, appliqué le 28 janvier, n'apparaît dans les eaux d'infiltration que le 22 mai, dans les conditions des pluies de l'année; il a demandé 170 millimètres de pluie pour diffuser dans la couche étudiée.

La quantité absolue d'azote de l'engrais qui a franchi la couche de 90 centimètres peut être évaluée par comparaison. Quoique le témoin (N° 3) se montre toujours inférieur aux autres, même avant que les engrais commencent à agir, la différence s'efface au printemps, et la comparaison devient possible. Nous trouvons que le sulfate d'ammoniaque a laissé infiltrer 105 mgr. d'azote, environ 20 % de la quantité employée pour l'expérience; et le nitrate de soude a pu à peine manifester son apparition.

Ainsi, au point de vue des pertes d'azote nitrique des engrais par l'infiltration, les époques choisies se montrent comme bien adaptées à notre terre et à notre pluviométrie; le nitrate pouvait même sans inconvénient être appliqué plus tôt, vers le 10 janvier. Mais à part la question des pertes par l'infiltration, les engrais azotés n'ont pas la même action sur la physiologie du blé, si la date de l'application est modifiée. Nous allons développer ce point de vue plus loin, à propos de nos expériences sur l'application des engrais azotés en couverture, au printemps.

e. Quantité d'azote nitrique ayant traversé la couche de terre de 90 centimètres

Nous avons calculé, pour chaque mesure d'infiltration, la quantité d'azote nitrique qu'elle contenait; ces quantités sont présentées dans les tableaux 15 et 16 ci-après.

L'examen des dernières lignes des tableaux permet de se rendre compte que la jachère est capable de fournir au sous-sol des quantités d'azote nitrique beaucoup plus importantes que les terres soumises au régime de la culture continue. Pour rendre l'examen plus concret, nous allons interpréter les résultats rapportés à l'hectare.

La *jachère* (bacs N°s 1, 2 et 3) a fourni, pendant les deux années de l'étude, des résultats assez concordants, sauf le N° 1 qui, en 1929-30, a donné un résultat trop élevé; nous l'écartons, en y supposant une cause accidentelle. La moyenne des entraînements est de 63 kg. 200 d'azote nitrique par hectare. Ce résultat est inférieur, même très inférieur, à ce que nous avons trouvé dans les jachères en pleine terre, bien qu'il soit légèrement augmenté par le sulfate d'ammoniaque du N° 2 en 1930-31.

TABLEAU 15

Azote nitrique enlevé par l'infiltration de la couche de 0m90 de terre (en milligrammes par bac) 1929-30

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23 décembre 1929....				0.113		0.848				0.031
14 janvier				0.000			6.384			
1 février.....				0.100			7.960			11.492
3 —	52.110	11.271	47.606	5.772	0.020	17.100	17.870	4.856	50.559	42.546
5 —	119.616	74.400	44.118	41.904	24.000	58.778	12.008	27.593	83.210	20.646
7 —	288.000	189.000	126.000	140.000	72.000	234.000	18.000	81.720	155.520	102.000
8 —	150.597	55.965	66.820	16.915	15.557	60.060	2.791	21.624	95.968	59.955
14 —	22.464	11.350	10.598	0.422	1.894	2.360		0.975	18.336	10.526
21 —	43.192	19.929	19.350	0.113	0.045	0.024	0.043	1.279	28.480	35.398
19 mars	6.900	5.297	2.656	0.062	0.012	0.042	0.004	0.001	2.442	0.552
26 —	10.276	8.650	4.846							
31 —	16.235	9.964	8.316						11.784	9.888
9 avril.....	12.016	12.158	10.670							
15 —	12.309	14.175	13.195		0.013	0.017			0.197	0.308
TOTAL en milligrammes...	633.715	412.159	354.175	205.341	113.541	343.229	65.060	138.048	446.496	293.342
En kilos par hectare.	107.732	70.067	60.210	34.908	19.302	63.449	11.060	23.468	75.904	49.868

Tableau 16

Azote nitrique enlevé par l'infiltration de la couche de o m 90 de terre (en milligrammes par bac) 1930-31

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24 octobre 1930.....	61.410	68.930	65.302						50.512	45.156
26 —	39.312	47.340	42.570		31.000				35.672	22.831
4 novembre.....	55.500	55.692	49.868	2.616	27.761	4.059	16.164		54.054	31.476
10 décembre.....	31.672	36.946	29.716	11.800	12.462	10.634	30.872	18.456	39.168	22.464
18 —	116.753	112.158	97.788	68.375	45.200	42.300	83.012	11.489	76.383	73.986
31 —	16.178	14.977	5.171	3.675	8.100	5.000	5.746	0.557	9.310	10.483
23 janvier 1931.....	10.057	11.107	8.710	0.465	5.062	0.335	0.471	0.029	0.805	
28 —	3.332	3.696	2.534	0.076	0.949		0.054		0.168	
7 février.....	5.870	8.361	5.678	0.063	0.539		0.050		0.051	
14 —	5.333	8.070	5.251							
16 —	5.176	15.708	6.397							
21 —	7.200	64.898	13.500							
23 mars.....	2.913	30.564	2.858							
22 mai	3.417	18.336	1.256							
Total par bac....	364.123	496.783	336.599	85.070	131.073	62.328	136.369	30.531	266.123	206.396
Rapporté à l'hectare.	61.900	66.640	57.220	14.462	22.282	10.596	23.183	5.190	45.241	35.087

Le *blé après la jachère* (N° 6 de 1929-30) a laissé 63 kg. 500 d'azote nitrique s'infiltrer dans les couches profondes; même les semailles du 1er décembre peuvent être considérées comme trop tardives; la totalité d'azote nitrique s'est infiltrée, au risque d'être perdue, comme nous allons le démontrer.

Le *blé en deuxième paille sans engrais azotés* laisse passer :

1929-30, N° 5.....	19 kg. 302	moyenne 16 kg. 882.
1930-31, N° 4.....	14 kg. 462	

Les *doses croissantes de nitrates de soude* essayées en 1929-30 n'ont pas pu augmenter les pertes d'azote, parce que les applications ont été très tardives, quand toute infiltration s'arrêtait.

L'expérience de 1930-31, sur l'application du *sulfate d'ammoniaque à des époques différentes*, n'a pas augmenté les pertes par infiltration, car la teneur en azote nitrique des eaux recueillies n'a pas augmenté. L'application précoce de l'engrais azoté provoque, au contraire, la diminution de l'infiltration : elle détermine un développement rapide des feuilles et des racines; l'évaporation devient considérable; d'autre part, les racines, plus abondantes, absorbent plus complètement l'azote existant dans le sol.

Les pertes des bacs qui ont reçu les engrais azotés ont été, en azote nitrique par hectare :

1929-30	N° 4.....	34,908	moyenne 23 kg. 145.
	N° 7.....	11,060	
	N° 8.....	23,468	
1930-31	N° 6.....	10,596	moyenne 12 kg. 990.
	N° 7.....	23,183	
	N° 8.....	5,190	

On peut attribuer la différence entre les moyennes au changement de l'époque des semailles, indiquée déjà dans le tableau 8 : en 1929-30, nous avons semé le Florence le 1er décembre, tandis qu'en 1930-31, le Mahon a été semé le 16 novembre.

Les bacs N^{os} 9 et 10 ont été réservés en 1929-30 pour l'étude des *semailles tardives*. Non seulement la quantité d'eau infiltrée a été plus grande que chez les bacs ensemencés normalement, — ce qui indique que le développement des plantes se faisait mal, — mais encore la quantité d'azote nitrique perdue par chacun de ces bacs est presque aussi grande que celle de la jachère après le blé, N^{os} 2 et 3. Les semailles tardives placent la plante dans des conditions impropres à l'utilisation rationnelle de la fertilité du sol, et c'est très important à connaître, parce que les rendements dépendent, dans nos terres

de la région tempérée-chaude, beaucoup plus de l'époque des semailles que des engrais, et seul le travail de la terre peut avoir une importance non moins grande. Nous avons eu l'occasion de montrer que les semailles tardives donnent de faibles rendements (voir graphique 7) (L. Y., 1929 b, 1930 a).

Quelle est la cause exacte de cette diminution ? Le raccourcissement de la durée de végétation ne pourrait pas provoquer par lui-même des diminutions aussi fortes. La véritable cause réside dans l'abaissement marqué de la température du sol, qui ralentit le développement des racines et des feuilles du blé; les pluies d'hiver entraînent l'azote dans les couches profondes, l'alimentation azotée devient défectueuse. Ainsi, l'action de ces deux causes s'ajoute pour diminuer le rendement dans le cas des semailles tardives.

Il est à savoir que le bon rendement est assuré avec les semailles aussi précoces que l'aptitude particulière de chaque blé le permet. En effet, il y a certains blés, ayant beaucoup de qualités, mais qui épient très tôt au printemps; les semailles trop précoces de ces variétés peuvent déterminer l'épiaison même en janvier, quand la floraison ne peut pas se faire dans de bonnes conditions, à cause des gelées et des pluies.

f. Est-il a craindre que l'azote nitrique de la terre puisse être perdu par l'infiltration ?

Ecartant pour le moment la question de la dénitrification (que nous allons développer plus loin), nous considérerons l'azote nitrique comme perdu s'il est arrivé à s'infiltrer dans les couches plus profondes que 175 centimètres; comme nous l'avons vu, nous avons une raison de penser que, dans notre terre, les racines ne pénètrent pas plus profondément.

En admettant que l'humidité du sous-sol profond (90 centimètres) après la jachère est de 14 % et celle d'un champ de blé de 10 %, il faut 5 % d'humidité pour le premier et 9 % pour le deuxième pour qu'ils arrivent à l'humidité limite de 19 %, que nous avons trouvée comme correspondant à l'imbibition complète de notre terre en place (pouvoir maximum de rétention de l'eau). Nous avons admis que la densité du sous-sol sec est égale à 1,42. Si la terre ne change pas de volume en augmentant son taux d'humidité, nous pouvons énoncer qu'après la jachère (qui a 14 % d'humidité), 1 millimètre de pluie sature 1 centimètre de profondeur de sous-sol; et qu'après un blé, 1 centimètre de profondeur de sous-sol demandera $1^{mm}75$ de pluie.

En 1929-30, la jachère pouvait imbiber son sous-sol jusqu'à la profondeur de 90+153=243 centimètres; dans ces conditions, les nitrates

peuvent être considérés comme perdus, en plus grande partie. Les autres bacs, avec le blé, qui ont laissé passer 65 millimètres de pluie en moyenne, pourraient assurer l'imbibition de 65 : 1,75=37 centimètres de sous-sol, et au total 90+37=127 centimètres. Dans ces conditions, la culture continue des céréales devient peu sûre, et il faut employer des engrais avec beaucoup de prudence. Cependant, les bacs contenant 90 centimètres de terre seulement fournissent une récolte qui, rapportée à l'hectare, est d'un rendement normal, quoique les plantes souffrent visiblement du manque d'eau au printemps.

En 1930-31, les pluies ont été plus importantes (505^{mm}). L'infiltration dans les bacs N^{os} 1, 2 et 3 (jachère continue) a été de 260^{mm} 5 de pluie assurant l'imbibition de 90+260=350 centimètres de terre. L'infiltration moyenne des autres bacs (culture de blé continue) est de 163^{mm} de pluie pouvant imbiber 163 : 1,75=93 centimètres de sous-sol, et au total 90+93=183 centimètres de terre. Les nitrates naturels ne sont pas perdus, dans ces conditions, pour la culture continue, et la récolte serait assurée remarquablement bien en eau et en azote. Ce sont là des conditions exceptionnelles d'une année particulièrement pluvieuse qui nous enseignent, cependant, que dans une région à pluviométrie moyenne de 500^{mm}, à terre profonde et de bonne constitution, la culture continue du blé trouverait des conditions idéales pour l'utilisation des eaux pluviales et de l'azote assimilable du sol.

Si l'on veut assurer des rendements convenables dans une région à 400^{mm} de pluie, la conservation de la jachère, une année sur trois ou quatre, paraît raisonnable; en contribuant à un bon nettoyage du sol, elle permet la reconstitution de l'humidité des couches profondes. Dans les cas d'une pluviométrie insuffisante ou mal répartie, cette réserve d'eau dans le sous-sol peut rendre des services.

Par le mot nettoyage nous voulons non seulement dire « nettoyage des mauvaises herbes », mais aussi « nettoyage chimique » : permettre à l'eau de pluie de laver le sol, de le débarrasser de l'excès de sels inutiles qui pourraient s'y accumuler en quantité exagérée (chlorures, sulfates).

L'étude de M. Henri Soulmagnon sur les chlorures apportés au sol par l'atmosphère établit que la quantité de chlorure de sodium apporté par hectare et par an est de 95 kilos; or, dans les terres du Service Botanique et Agronomique, nous ne trouvons que des traces de chlorures. Il faut admettre que les infiltrations existent et sont suffisamment fortes pour provoquer leur départ. Ainsi, nous avons une preuve indirecte que les nitrates du sol doivent être également perdus par l'infiltration dans les couches profondes, sous la pluviométrie de 400^{mm}. Cependant, on ne doit pas généraliser cette remarque, parce que le régime des pluies n'a pas agi un temps assez long

sur l'assolement du Service Botanique pour que la résultante puisse s'établir.

En résumant, on doit énoncer que chaque fois que l'on pratique la jachère on a une perte de nitrates par infiltration.

g. Fertilité, pluviométrie et perméabilité du sol en rapport avec l'assolement

En établissant un assolement, on doit tenir compte d'une foule de conditions (économiques et naturelles), parmi lesquelles se placent surtout la *pluviométrie* de la région, la *perméabilité* et la *fertilité* de la terre.

Pour apprécier la valeur agricole d'une terre relativement à sa fertilité et particulièrement à sa richesse en azote assimilable, il faut connaître sa capacité d'accumulation de l'azote nitrique par le fait des labours et des façons. Si la terre du Service Botanique et Agronomique de Tunisie peut en avoir jusqu'à 45-50 kilos par hectare et même 70 dans quelques parcelles particulièrement bien constituées, en culture continue, les autres terres de Tunisie peuvent avoir un « coefficient azoté » plus fort ou plus faible, qu'il est utile de connaître.

Pour déterminer la capacité d'une terre donnée de porter des récoltes successives, il faut disposer de plusieurs éléments d'appréciation. Quelle est la pluviométrie moyenne annuelle ? Comment les pluies se répartissent-elles ? Quelle est la constance de la moyenne annuelle et des moyennes mensuelles ? On peut trouver des réponses dans les ouvrages de G. Ginestous sur la météorologie tunisienne.

Ensuite, viennent d'autres éléments : la composition physique de la terre qui permet de juger de sa perméabilité et de sa capacité de retenir plus ou moins d'eau. Plus une terre est perméable, — nous écartons les sables des dunes, — plus la culture continue devient possible.

Enfin, la profondeur de la terre a une importance de premier ordre: une très grande surface de Tunisie présente des croûtes calcaires (tuf) sous lesquelles se trouve un sous-sol de nature variable. Cette croûte est souvent presque imperméable et limite la productivité. L'étude des croûtes et les essais de leur destruction par un moyen mécanique ou par les explosifs est d'une grande importance. A. Piedallu cite plusieurs exemples d'une très grande augmentation de la productivité des terres qui ont été défoncées par les explosifs; en effet, deux raisons expliquent les avantages de cette pratique : 1) les plantes ont plus d'eau à la disposition des racines; 2) l'air que l'on introduit dans le sol n'est, pour ainsi dire, jamais en trop.

Si le sol est profond et si les pluies arrivent à le saturer sur toute sa profondeur, il n'y a pas de raison de penser que la culture continue ne soit pas possible. Peut-être, dans quelques terres, même bien travaillées, la fertilité se montrera insuffisante pour maintenir les rendements élevés, mais l'agriculteur d'aujourd'hui a suffisamment d'engrais à sa disposition pour aider sa terre à produire.

h. Concentration en azote nitrique des eaux de drainage en Angleterre et en France

Comme dans le chapitre précédent, nous allons comparer les résultats obtenus sur une terre de Tunisie avec ceux d'autres expérimentateurs dans les pays à climat différent.

La Station de Rothamsted, qui a beaucoup étudié la question de l'azote nitrique des terres, possède des analyses de très nombreuses années, démontrant l'importance que l'on attribue à cette connaissance et une remarquable persévérance dans la réalisation de ses projets.

Les eaux de drainage d'une parcelle nue et sans engrais ont eu la teneur moyenne (de 1877-78 à 1896-87) suivante :

Azote nitrique dans les eaux de drainage des caisses de 1 m. 01 de profondeur, en milligrammss par litre (Rothamsted)

	Mgr.		Mgr.		Mgr.
Septembre....	11.73	Janvier.....	6.68	Mai.....	7.25
Octobre.. ...	10.57	Février.....	6.53	Juin.....	7.62
Novembre....	10.48	Mars	6.45	Juillet	9.00
Décembre	8.26	Avril	7.07	Août	9.82

Nous ne pouvons pas juxtaposer ces résultats aux nôtres par la simple raison que nous n'avons pas opéré avec la terre nue et inculte, mais bien avec la jachère travaillée ou le blé.

Les analyses de Frankland (1866-68) et Voelcker (1872-73), faites également à Rothamsted, sur les eaux de drainage d'un champ en culture continue de blé sans engrais, ont donné, en azote nitrique par litre :

	Mgr.
FRANKLAND, moyenne des 6 déterminations.....	3.16
VOELKER, — des 5 —	3.90
Moyenne des 11 —	3.53

Nous avons vu que la culture continue du blé dans notre terre

abaisse la concentration des eaux de drainage en azote nitrique (si l'on fait la comparaison avec la jachère); mais seulement pour la ramener à 81 mgr. 5 en 1929-30 et à 51 mgr. en 1930-31 au moment du passage par le maximum.

Nous pouvons donc énoncer que la concentration en azote nitrique, des eaux de drainage, dans notre champ de blé, est beaucoup supérieure à celle constatée en Angleterre et que les variations de la teneur sont plus grandes dans les deux sens.

Quant aux pertes (quantitatives) de l'azote nitrique par l'infiltration dans les couches profondes à la Station de Rothamsted, il résulte des dosages d'azote pratiqués pendant vingt années consécutives sur les eaux de drainage, recueillies dans le sol *nu et inculte* de Rothamsted, aux profondeurs de $0^m 50$, $1^m 01$ et $1^m 52$, que l'azote nitrique correspond en moyenne à 45 kilos par hectare et par an. Sur cette quantité, 5 à 11 kilos proviennent de l'azote à l'état combiné existant dans les eaux de pluie et les eaux atmosphériques que le sol condense, et 34 à 40 kilos sont dus à la nitrification des matières azotées contenues dans le sol nu, sans engrais (Ronna, p. 501). La perte moyenne mensuelle a été :

Perte d'azote nitrique, en kilogrammes par hectare, par les eaux de drainage des caisses de 1 m. 01 de profondeur ; terre nue, sans engrais, Rothamsted : 1877-97

	Kgr.		Kgr.		Kgr
Septembre.....	3.05	Janvier.....	3.14	Mai	1.16
Octobre	5.60	Février.....	2.81	Juin	1.22
Novembre	6.33	Mars..... ...	1.87	Juillet.....	1.71
Décembre.....	4.38	Avril.....	1.06	Août.....	2.16

Total de l'année moyenne : 34 kgr. 55

L'étude correspondante n'a pas été faite au Service Botanique et Agronomique, parce que la jachère qui était l'objet de notre attention mobilise plus d'azote que la terre nue inculte.

En France, des études aussi régulières que celles de Rothamsted n'ont jamais été faites.

Berthelot a trouvé, en plaçant dans un vase de porcelaine 45 kilos de terre, la quantité d'azote nitrique qui correspond à 382 kilos d'azote nitrique à l'hectare. Ce résultat trop élevé est déterminé par la division extrême de la terre, qui n'a pas eu le temps de prendre la consistance d'une terre normale.

Dehérain, à Grignon, a fait également quelques déterminations semblables, en opérant sur 30 kilos de terre de champs différents.

Ses résultats méritent le même reproche, d'avoir été obtenus avec une terre trop ameublie; ils sont reproduits ci-dessous :

	Eté — Juin à Octobre	Octobre				Hiver		Print. — Février-Mai	Tot.
		du 2 au 9	du 9 au 16	du 16 au 22	du 22 au 7 nov.	jusqu'au 7 janv.	7 janvier-7 février		
Concentration, en milligrammes d'azote nitrique, par litre :									
1. Prairie, depuis 10 ans....	117	194	194	146	38	11	20	27	
2. Terre régulièrement fumée..	242	281	256	174	33	18	27	27	
3. Terre sans engrais depuis 4 ans	143	194	178	682	14	9	13	26	
Azote nitrique des eaux de drainage, en kilogrammes par hectare :									
1.	7.1	17.9	25.4	19.0	9.0	4.2	7.1	14.3	104.0
2.	20.7	26.0	33.1	20.8	7.6	7.1	9.7	12.5	137.5
3.	11.8	19.5	24.0	10.9	3.5	3.5	6.9	12.6	92.5

Ces chiffres de DEHÉRAIN sont très comparables à la teneur de notre jachère en azote nitrique (voir tableau 5 et graphique 5).

Nous pourrions également rappeler les résultats cités dans les ouvrages de DUMONT et d'ANDRÉ, mais ils n'indiquent que les concentrations des eaux sans mentionner la saison ni les conditions d'expérience.

Dans tous les cas, il est possible de penser qu'une terre de France maintenue en bon état de fertilité et bien travaillée peut laisser aux eaux de drainage des quantités d'azote nitrique comparables à une terre de Tunisie de fertilité moyenne, assez bien travaillée.

III. Nitrification et dénitrification

S'il importe de connaître le régime de l'azote nitrique dans le sol pour comprendre l'utilisation des fumures azotées, il est non moins important de connaître le sort des engrais incorporés au sol; que devient l'azote nitrique des engrais dans le sol ? est-ce qu'il dénitrifie ? passe-t-il partiellement ou totalement à l'état d'azote organique ? Quelle est la vitesse de la nitrification des engrais ammoniacaux et organiques et de la dénitrification ? Autant de questions sur lesquelles on n'est pas suffisamment bien renseigné et dont l'étude intéresse en même temps théoriciens et praticiens de l'agriculture.

L'étude en a été entreprise à Maison-Carrée. Menée avec une terre rouge, argileuse et dépourvue de calcaire libre, elle nous a donné des conclusions (L. Y., 1929 b) qui peuvent se résumer brièvement :

1° La vitesse de nitrification des engrais ammoniacaux est très grande.

2° Le rendement de la nitrification n'est pas égal à 100 %.

3° La dénitrification a une intensité assez grande pour que l'on doive toujours en tenir compte dans l'emploi des engrais azotés.

Ces conclusions ont été établies en nous basant sur la teneur moyenne de cinq pots de jardinier, paraffinés pour éviter les pertes par absorption dans les parois, et arrosés à volonté pour ne pas avoir de pertes par l'infiltration. Les résultats de notre étude de Maison-Carrée (déjà publiés) sont reproduits sur le graphique 8.

Nous avons énoncé nos conclusions comme une règle générale, puisque les analyses ont été minutieusement exécutées et ont donné des résultats incontestables. Mais nous avons considéré notre mélange de terre avec le calcaire comme une bonne terre normale; c'est une erreur, parce que les habitants du sol n'ont pas eu le temps de céder la place à d'autres qui correspondraient à la composition du sol que nous avons créé artificiellement; notre sol, tout en ayant la composition d'une terre bien constituée, gardait encore la microflore d'une terre manquant de chaux.

Désirant vérifier nos conclusions dans une terre argilo-calcaire brune, nous avons entrepris une nouvelle étude dans une des meilleures terres du Service Botanique et Agronomique de Tunisie de composition suivante :

Sable grossier siliceux	333,0
Sable grossier calcaire	175,0
Sable fin siliceux	99,0
Sable fin calcaire	173,0
Argile et organiques	220,0
dont l'humus	4,3
Azote	1,311
$P^2 O^5$	2,26
$K^2 O$	3,6
Mg O	7,3
Chlorures	Faibles traces

La terre est prélevée après la jachère, avant les semailles de blé; elle est donc au maximum de son activité.

Le but poursuivi par cette expérience a été :

a) établir si, dans les terres argilo-calcaires assez perméables, la dénitrification a la même importance que dans notre première étude;

b) comparer la vitesse de nitrification des engrais azotés contenant l'azote seul ou accompagné d'autres éléments considérés comme fertilisants ou non;

c) si possible, constater le passage de l'azote soluble des engrais à l'état d'azote organique.

Le schéma ci-dessous indique les engrais que nous avons employés et les éléments qu'ils contiennent :

Bac	ENGRAIS	Azote	$P^2 O^5$	$K^2 O$	MgO	SO^3
1	Urée	+	0	0	0	0
2	Sulfate d'ammoniaque	+	0	0	0	+
3	Phosphate ammoniaco-magnésien chimique	+	+	0	+	0
4	Phosphate ammoniaco-magnésien commercial	+	+	0	+	0
5	Phosphate ammo-potassique	+	+	+	0	0
6	Terre seule sans azote des engrais	0	0	0	0	0
7	NO^3 Na	+	0	0	0	0
8	Sang desséché	+	0	0	0	0
9	Guano de poissons Angibaud	+	+	+	+	+
10	Fumier très décomposé	+	+	+	+	+

Chaque engrais apportait la même quantité d'azote, 0 ‰ 400 (400 milligrammes par kilogramme de terre sèche).

Plus tard, le 20 mars, nous avons ajouté encore trois bacs contenant une terre rouge (sous-sol des environs de Bordj-Toum) de composition suivante :

Sable grossier siliceux	410 %
Sable grossier calcaire	0
Sable fin siliceux	201
Sable fin calcaire	0
Argile + organiques	389
Azote	1,27 %
$P^2 O^5$	1,01
$K^2 O$	11,2
Mg O	9,5
Ca O (par permanganate)	12,4

Le N° 11 a reçu du sulfate d'ammoniaque.

Le N° 12 a reçu du nitrate de soude.

Le N° 13 est laissé comme témoin.

Tous les bacs ont été gardés sous un abri, à l'ombre, mais aérés par le vent libre pour que leur température soit identique, autant que possible, à celle d'une couche de terre se trouvant à une profondeur, admettons, de 15 centimètres.

Cette expérience avec 13 bacs a duré de novembre 1930 à la fin d'août 1931, un temps largement suffisant pour se rendre compte de l'intensité de la dénitrification.

Du côté droit du tableau qui suit (tableau 17), nous indiquons la somme de l'azote organique, ammoniacal et nitrique. Elle peut servir comme indicateur de la précision obtenue dans les analyses. Nous sommes obligé d'avouer que nous avions espéré obtenir des résultats plus concordants. Le dosage de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique est fait chaque fois en simple. Le dosage de l'azote organique est fait en triple, par la méthode de KJELDAHL, en prenant la moyenne des trois dosages; l'opération a été conduite sur 5 grammes de terre seulement, parce que la terre argilo-calcaire est difficile à attaquer par l'acide sulfurique; or, la moindre erreur multipliée par 200 devient considérable. Il est à remarquer que le dosage de l'azote organique par la méthode de KJELDAHL est suffisamment précis pour les analyses ordinaires de terre, mais ne donne pas satisfaction dans les recherches sur la fixation de l'azote ou le passage de l'azote nitrique ou ammoniacal à l'état d'azote organique. Les précautions prises (dosage en triple, homogénéisation très soignée des échantillons) nous ont permis, cependant, de tirer quelques conclusions avec une certitude suffisante.

Le tableau de l'azote total, où chaque chiffre comprend des erreurs des trois déterminations et en même temps le changement de la teneur totale en azote des échantillons (par la fixation de l'azote ou par la dénitrification), contient quelques lignes régulières, mais le N° 3 est apparemment erroné le 20 mars et le N° 8 le 19 janvier; il faut supposer que le dosage de l'azote nitrique a été faussé par un accident. Les chiffres douteux sont entre des parenthèses.

Quant au reste des résultats, ils paraissent assez corrects, mais indiquent que, sur les trois déterminations effectuées (azote organique, azote ammoniacal et azote nitrique), l'erreur jusqu'à 50 mgr. sur 1.750 du total peut être considérée comme inévitable. Les conclusions qu'il serait intéressant d'avoir sur le passage de l'azote des engrais à l'état organique ne peuvent se faire qu'avec beaucoup de prudence.

TABLEAU 17

Etude sur la nitrification (Service Botanique et Agronomique de Tunisie, 1930-31)

N°	Azote organique, en milligrammes par kilo de terre sèche					Azote total, en milligrammes par kilo de terre sèche				
	15 nov.	19 janv.	20 mars	22 mai	28 août	15 nov.	19 janv.	20 mars	22 mai	28 août
1	1314	1346	1397	—	1350	1754	1719	1768	—	1781
2	1314	1372	1394	—	1361	1754	1699	1711	—	1742
3	1314	1358	1385	—	1369	1754	1712	(1663)	—	1715
4	1314	1421	1411	—	1388	1754	1732	1714	—	1740
5	1314	1380	1367	—	1343	1754	1744	1724	—	1695
6	1314	1310	1305	—	1257	1354	1350	1347	—	1306
7	1314	—	1331	—	1342	1754	—	—	—	1770
8	1714	1549	1437	—	1434	1754	(1829)	1755	—	1739
9	1647	1541	1477	—	1490	1753	1756	1724	—	1752
10	1664	1648	1621	—	1601	1753	1755	1695	—	1704
11	—	—	1274	1339	1544	—	—	1695	1755	1686
12	—	—	1274	—	—	—	—	1695	—	—
13	—	—	1274	1282	1299	—	—	1295	1322	1369

En examinant attentivement les résultats d'analyses relatifs à l'azote organique, on constate une augmentation de cette forme d'azote dans les cinq premiers numéros; le N° 7 paraît accuser également une légère augmentation, tandis que le témoin N° 6 montre une légère mais régulière diminution. Il est donc permis de croire qu'une certaine partie de l'azote des engrais passe à l'état d'azote organique; ce passage paraît temporaire, parce qu'à la fin de l'expérience nous enregistrons régulièrement une diminution de la teneur.

En soustrayant de tous les résultats 1.314 mgr. d'azote organique que l'on avait au départ, on obtient :

		19-I	20-III	28-VIII
		—	—	—
N° 1	Urée	+ 32	+ 83	+ 36
N° 2	Sulfate d'ammoniaque	+ 58	+ 80	+ 47
N° 3	PO^4 Am Mg chimique	+ 44	+ 71	+ 55
N° 4	— commercial	+107	+ 97	+ 74
N° 5	Phosphate ammo-potassique	+ 66	+ 53	+ 29
N° 6	Témoin	— 4	— 9	— 57
N° 7	NO^3 Na		+ 17	+ 28

Le passage de l'azote soluble à l'azote organique a lieu incontestablement. Il paraît être plus fort avec l'azote ammoniacal qu'avec l'azote nitrique; mais nous ne pouvons pas affirmer, en nous basant sur ces dosages de l'azote organique, que la nature de l'engrais employé a une influence marquée sur l'intensité du phénomène.

Dans l'autre terre (de Bordj-Toumi), il y a eu fixation de l'azote par le témoin N° 13 et passage à l'état organique d'une sensible quantité de l'azote ammoniacal.

Le tableau de l'azote ammoniacal (tableau 18) démontre que l'azote des cinq premiers bacs diminue, en général, régulièrement; mais l'on constate des différences très sensibles dans la nitrification des engrais choisis.

Déjà le 19 janvier, le sulfate d'ammoniaque et l'urée ont de l'avance sur les phosphates; cette différence devient encore plus évidente dans la suite, le 24 février, quand les deux premiers sont complètement transformés, tandis que les trois phosphates laissent encore dans le sol beaucoup de leur ammoniaque. Il est à remarquer que les phosphates ammoniaco-magnésiens sont les plus lents; particulièrement progressif est le phosphate ammoniaco-magnésien chimique (précipité cristallin pur de phosphate ammoniaco-magnésien).

Le nitrate de soude a d'abord tendance à augmenter la teneur du sol en azote ammoniacal, mais ce dernier disparaît de nouveau au printemps.

TABLEAU 18

Etude sur la nitrification. Service Botanique et Agronomique de Tunisie

1930-31

	15 nov.	18 déc.	19 janv.	24 févr.	20 mars	22 mai	28 août
AZOTE AMMONIACAL, EN MILLIGRAMMES, PAR KILO DE TERRE SÈCHE							
1	408.5	304 d*	73	14	5	—	6
2	408.5	284	77	9	4	—	6
3	408.5	337	244	143	63	—	6
4	408.5	270	182	100	53	—	7
5	408.5	304	204	54	19	—	6
6	8.5	4	2.4	2.7	2.7	—	6
7	8.5	30	13	7	6	—	6
8	8.5	163	75	21	6	—	5
9	75.0	154	82	32	7	—	5
10	9.3	8	4	34	3	—	4
11	—	—	—	—	409	284	42
12	—	—	—	—	9	9	9
13	—	—	—	—	9	7	7
AZOTE NITRIQUE, EN MILLIGRAMMES, PAR KILO DE TERRE SÈCHE							
1	31.4	153 d	300	357	366	—	425
2	31.4	110	250	323 d	313 a**	—	375
3	31.4	42	110	213	215 a	—	340
4	31.4	59	129	207	250	—	344
5	31.4	54	160	306	338	—	346
6	31.4	30	38	33	34	—	43
7	431.4	380	369	409	—	—	422
8	31.4	58	—	202	312	—	300
9	31.4	66	133	185	240	—	257
10	80.0	89	103	68	91	—	99
11					12	132	100
12					412	442	332
13					12	33	64

REMARQUES : * La lettre **d** indique que ce chiffre est à *diminuer*.
** La lettre **a** indique que ce chiffre est à *augmenter*.

Le sang desséché nitrifie presque aussi rapidement que le sulfate d'ammoniaque; le guano de poissons est également un engrais azoté rapide.

Tous deux paraissent ne pas être homogènes et laissent dans le sol une partie de leur azote, qui est peu active.

Le fumier très décomposé (le terreau de fumier) est peu actif; sa teneur en azote ammoniacal a augmenté légèrement en février, mais l'augmentation de l'azote nitrique est tout le temps faible.

Le tableau de l'azote nitrique contient quelques irrégularités qui sont indiquées sur le tableau même et que l'on peut bien voir sur le graphique. Les chiffres obtenus sont indiqués par des points; la courbe passe au voisinage; la flèche indique le sens de la modification apportée.

En général, les indications fournies par le dosage de l'azote nitrique correspondent exactement aux précédentes obtenues avec l'azote ammoniacal. On remarque que la somme azote nitrique+azote ammoniacal ne fait pas 440 mgr. : il y a eu un passage à l'état organique, particulièrement sensible pour le N° 3.

Il est inutile de parler des dix premiers bacs, parce que ce qui a été dit à propos de l'azote ammoniacal serait à répéter. Mais il faut attirer l'attention sur le N° 11; nous avons trouvé cette fois, comme à Maison-Carrée, une forte diminution en azote nitrique vers la fin de l'essai. Les terres sans calcaire ne sont pas aptes à accumuler autant d'azote nitrique que les terres calcaires.

Les changements de la teneur en azote ammoniacal et en azote nitrique sont présentés sur le graphique 9.

Certainement, on sait déjà que la dénitrification est un phénomène courant dans les terres. Dans quelles terres ? Dans quelle mesure ? Cette étude apporte à ces questions quelques précisions en établissant que :

la nitrification est intégrale dans les terres argilo-calcaires saines; dans ces terres, il n'y a pas de dénitrification; seul, un léger passage à l'état d'azote organique a eu lieu pour une période relativement courte;

la nitrification des engrais ammoniacaux dans les terres non calcaires peut conduire à une perte pure de l'azote dans l'atmosphère, comme à Maison-Carrée, ou à une accumulation de l'azote organique, comme à Bordj-Toum.

Ces études n'ont pas permis de trouver le moyen de distinguer, par une analyse physique et chimique, les terres dénitrifiantes pour les

classer dans la première ou la deuxième catégorie. Ce problème appartient plutôt aux microbiologistes du sol.

En résumant nos études sur la nitrification, on peut énoncer que :

La vitesse de nitrification est grande dans les sols et plus faible dans le sous-sol de Bordj-Toum; trois mois seulement sont nécessaires pour la nitrification du sulfate d'ammoniaque dans la terre du Service Botanique et Agronomique; trois mois également dans une terre de Maison-Carrée; plus de cinq dans le sous-sol de Bordj-Toum.

La vitesse de nitrification est plus grande si l'on fait nitrifier l'azote ammoniacal non accompagné de fortes quantités d'acide phosphorique et de potasse [1].

La nitrification est accompagnée régulièrement du passage d'une certaine fraction de l'azote d'engrais à l'état d'azote organique;

Le passage à l'état organique peut être très intense dans le cas de terres sans calcaire, où il faut le considérer comme une véritable dénitrification, parce qu'il se fait au dépens de l'azote nitrique également;

Dans d'autres cas de terres dépourvues de calcaire, la dénitrification est accompagnée de la perte d'azote dans l'atmosphère.

IV. Les autres formes de l'azote du sol

a. Azote ammoniacal

Si l'étude de l'azote nitrique de la terre présente un intérêt direct, — parce que cette forme d'azote est mobile et directement assimilable, et parce que les variations de la teneur en azote nitrique sont saisonnières et importantes, — nos connaissances sur la teneur de la terre en azote ammoniacal devraient présenter un certain intérêt parce que lui aussi est une forme assimilable, quoique retenue par le pouvoir absorbant du sol.

Cependant, jamais l'étude de l'azote ammoniacal n'a pu donner des résultats aussi utiles que la précédente : il n'existe pas encore de méthode reconnue exacte pour le dosage de cette forme d'azote dans la terre; la teneur en azote ammoniacal est plus ou moins constante au cours de l'année entière; en effet, l'azote ammoniacal est un terme de passage entre l'azote des matières organiques et l'azote nitreux et nitrique; si le pouvoir absorbant de la terre n'intervenait pas, on devrait trouver dans la terre une quantité aussi faible de cette forme

(1) Nous avons montré que l'addition des autres éléments que l'azote en petite quantité a augmenté; par contre, la vitesse de nitrification, comme l'on peut le voir au tableau 11, page 158, *Emploi des engrais azotés dans l'Afrique du Nord.*

que d'azote nitreux; et, dans ce cas, les dosages deviennent inutiles, vu sa trop faible quantité.

Il n'est cependant pas impossible que cette étude, menée par une méthode reconnue la meilleure, puisse fournir des résultats qui ne manqueraient pas d'intérêt.

Nous sommes obligé d'avouer que les nombreuses analyses que nous avons faites ne nous ont donné aucune conclusion profitable, parce que la méthode employée a été trop grossière : nous mettions 20-50 grammes de terre dans un ballon de 1 litre, ajoutions 250 cc. environ d'eau et distillions en présence de magnésie calcinée, chaque fois 45 cc., dans une fiole jaugée de 50 cc. Le titrage se faisait avec le réactif de Nessler, suivant la méthode colorimétrique de Pouget (1913).

Nous obtenions régulièrement, dans les terres du Service Botanique et Agronomique, des teneurs qui variaient entre certaines limites en se maintenant autour d'une moyenne qui se conservait toute l'année (voir tableau 19).

Les moyennes obtenues sont assez comparables entre elles et n'indiquent pas le rôle du travail du sol, des plantes et des saisons. C'est un indice que la méthode de dosage n'est pas bien choisie. Un autre indice, c'est le résultat relativement élevé qu'elle fournit; nous croyons que si la teneur doit être supérieure à celle d'azote nitreux, elle doit tout de même être relativement faible, parce que l'azote ammoniacal n'est qu'une forme de passage, surtout dans les terres calcaires.

A la base de chaque recherche est une hypothèse qu'on cherche à justifier ou que l'on est conduit à abandonner.

Nous avons supposé que la magnésie calcinée, non seulement chasse l'azote ammoniacal, mais provoque la décomposition de certaines matières organiques du sol peu stables.

En effet, le dosage de l'azote ammoniacal sur les eaux de drainage nous a fourni un résultat beaucoup plus bas; en appliquant le même mode opératoire, nous avons trouvé la teneur moyenne des dix bacs de 90 centimètres (moyenne de 60 analyses) de 0 mgr. 558 d'azote ammoniacal par litre d'eau recueillie. Cela aurait donné pour le sol, qui est capable de retenir près de 20 % d'humidité, 250 grammes d'eau dans un kilogramme de terre sèche; donc, 0 mgr. 140 d'azote ammoniacal par kilogramme de terre sèche. L'écart est considérable, la méthode appliquée par nous donne des résultats environ 17,5 fois plus forts; même en admettant que les eaux d'infiltration n'ont pas pu emporter l'azote ammoniacal retenu par le pouvoir absorbant du sol, cette différence paraît exagérée.

TABLEAU 19

Azote ammoniacal dans les terres du Service Botanique et Agronomique de Tunisie

			EN MILLIGRAMMES par kilo de terre sèche	EN KILOGRAMMES par hectare	
Jachère	0-30 cm.	moyenne des 12 analyses.....	2.67	8.811	24.232
	30-60	— 12 —	1.95	8.307	
	60-90	— 12 —	1.67	7.114	
Blé	0-30 —	moyenne des 9 analyses.....	2.98	9.834	28.102
	30-60	— 10 —	2.23	9.450	
	60-90	— 8 —	2.07	8.818	
Vesce	0-30 —	moyenne des 8 analyses.....	3.15	10.395	28.543
	30-60	— 8 —	1.95	8.307	
	60-90	— 7 —	2.31	9.841	
Blé	0-30 —	moyenne des 4 analyses.....	2.31	7.623	24.621
	30-60	— 3 —	1.96	8.350	
	60-90	— 1 —	2.03	8.648	
Inculte	0-30 —	moyenne des 5 —	2.52	8.316	25.782
	30-60	— 5 —	2.02	8.605	
	60-90	— 5 —	2.08	8.861	

Nous avons appliqué alors, sur quelques prélèvements de terre, une nouvelle méthode de dosage : à un poids variable de terre (déterminé par le tâtonnement), de 25 à 50 grammes, placé dans un ballon de 1 litre, nous avons ajouté 350 cc. d'eau et 1-1,5 grammes de magnésie calcinée; le distillat, contenant l'azote ammoniacal, a été recueilli par fractions successives de 10, 15, 20, 30, 45 cc.; sur chaque fraction, nous avons effectué le dosage de l'azote ammoniacal, avec le réactif de Nessler, en appliquant la méthode colorimétrique. Nous avons obtenu des résultats, réunis dans le tableau 20 ci-après, qui expliquent l'insuccès de notre méthode primitivement employée.

Le graphique 10 montre bien les différences que présentent les échantillons analysés. Le sol prélevé en hiver (sh) donne beaucoup d'azote ammoniacal d'abord et continue à en donner des quantités notables même à la fin de notre essai; il contient des matières organiques facilement décomposables même par la magnésie calcinée. Le sous-sol de 30 à 60, au même endroit (ssh), donne beaucoup d'azote ammoniacal d'abord, mais les quantités deviennent faibles vers la fin : il contient peu de matières organiques facilement décomposables. Les deux sols, analysés en automne aussi, ne se ressemblent pas; le sol 1 (sa 1) au commencement de la distillation fournit plus d'azote que sa 2, mais les débits deviennent inverses vers la fin.

Le petit graphique 10 est destiné à montrer comment nous avons procédé pour déterminer l'azote ammoniacal. Admettons que la courbe a b c... est obtenue en réunissant les points a, b, c... donnés par les dosages faits sur les fractions du distillat et calculés par centimètre cube du distillat; à partir du point d, la courbe se confond avec une droite; cette droite est supposée représenter la décomposition progressive des matières organiques du sol par la magnésie calcinée. Les écarts aa^1, bb^1, cc^1..., multipliés par le volume auquel ils correspondent, doivent indiquer l'azote ammoniacal; l'azote ammoniacal peut être déterminé comme égal à :

$$aa^1 \times v^a + bb^1 \times v^b + cc^1 \times v^c + \ldots$$

Ainsi déterminé graphiquement, il est indiqué dans le tableau 17 sous l'appellation d'azote ammoniacal réel. L'exactitude absolue ne peut pas être obtenue par cette méthode, parce que les matières organiques décomposables doivent être assez nombreuses et se décomposer les unes plus que les autres; la droite a, b, c devrait être légèrement incurvée, mais on ne commettrait pas une grande erreur en la confondant avec une droite.

L'azote ammoniacal réel montre des différences marquées entre les échantillons analysés, beaucoup plus marquées que par la méthode appliquée primitivement.

TABLEAU 20

Dosage de l'azote ammoniacal du sol par distillation fractionnée

TERRE		Volume distillé	Azote ammoniacal trouvé dans ce volume	Azote ammoniacal par 1 cc. de distillat	Azote ammoniacal réel	Azote ammoniacal réel	Azote ammoniacal trouvé par le dosage sur 45 cc. de distil.	Azote amm. réel en % de l'azote amm. trouvé par l'ancienne méthode	Dosage est fait sur — gr. de terre humide
			m. gr.		Milligrammes par kilo de terre humide				
Prélèvement du 19 janvier	Sol (0-30) sh	10	0.0390	0.0039					
		15	0.0330	0 0022					
		20	0.0230	0.0012					
		45	0 0296	0.0007					
		45	0.0214	0.0005					
		46	0.0188	0.0004					
		181			0.067	2.231	3.163	70.5	30
	Sous-sol (30-60) ssh	10	0.0186	0.00186					
		15	0.0132	0.00088					
		25	0.0095	0.00038					
		45	0 0087	0.00019					
		45	0.0046	0.00010					
		140			0.020	0.444	0.875	50.8	45
Prélèvement du 23 novembre	Sol (0-30) sa1	5	0.0045	0.00089					
		10	0.0061	0.00061					
		15	0.0077	0.00051					
		25	0.0086	0.00031					
		50	0.0147	0.00029					
		52	0.0117	0.00022					
		157			0.008	0.404	1.172	34 5	20
	Sol sa2	8	0.0054	0.00067					
		15	0.0078	0.00052					
		27	0.0126	0.00047					
		45	0.0178	0.00040					
		45	0.0163	0.00036					
		46.5	0.0159	0.00034					
		186.5			0,003	0.167	0.783	21.3	30

Ainsi, cette méthode, longue et d'une application difficile à cause de la propreté qu'elle exige, semble pouvoir fournir une caractéristique de la terre en donnant sa courbe de distillation avec la magnésie calcinée; cette courbe présente quelques analogies avec les courbes d'acide phosphorique assimilable trouvées par Grégoire à Gembloux; la courbe obtenue permet le dosage graphique de l'ammoniaque.

Nous n'avons pas essayé des méthodes proposées par d'autres chercheurs, espérant pouvoir le faire plus tard. Ces méthodes peuvent être classées en deux groupes :

1° l'azote ammoniacal retenu par le pouvoir absorbant de la terre est mobilisé par l'action de l'acide chlorhydrique; la solution seule sert pour le dosage de l'azote ammoniacal par distillation, en présence de magnésie calcinée, en prenant des précautions spéciales pour ne pas décomposer les combinaisons amidiques, également présentes dans la solution. Les précautions sont le chauffage à 40° seulement et la distillation sous le vide. La description complète de la méthode est indiquée dans *Contribution à l'étude azotée des végétaux*, par I. Pouget et D. Chouchac;

2° la mobilisation de l'azote ammoniacal se fait par une solution diluée de chlorure de potassium (1 % suivant les uns, 3 % suivant les autres); le dosage se fait colorimétriquement, par le réactif de Nessler, directement sur la solution obtenue ou après la séparation préalable de l'ammoniaque par distillation.

Ce court chapitre ne présente pas une étude finie comparable à celle sur l'azote nitrique. Cependant, nous considérons ces quelques ébauches d'études comme utiles pour les chercheurs, qui y trouveront des méthodes proposées et éviteront les tâtonnements; pour les praticiens, qui pourront voir que l'azote ammoniacal dans une terre argilo-calcaire du Service Botanique et Agronomique se trouve en quantité voisine de 0 mgr. 6 environ par kilogramme de terre sèche; rapporté à l'hectare, il sera près de 2 kilogrammes dans la couche de 30 centimètres d'épaisseur.

b. Azote nitreux

Ecartant l'azote nitreux qui, comme nous avons eu l'occasion de le dire (L. Y., 1929 b), se trouve dans les terres argilo-calcaires à l'état de faibles traces (0 kg. 2 par hectare) et en quantité plus considérable dans les terres dépourvues de calcaire, surtout au mois de février, quand la terre est gorgée d'eau, pouvant atteindre même 6 kg. par hectare, l'écartant parce qu'il est en quantité négligeable dans des terres saines, nous arrivons à l'azote organique du sol.

c. Azote organique du sol

Il peut être étudié à deux points de vue : mobilisation de l'azote organique existant dans le sol par l'activité des microbes; fixation de l'azote atmosphérique par les microbes, fixation qui fournit l'azote organique, probablement dans des combinaisons facilement décomposables.

L'alimentation de la récolte en azote se fait en utilisant toutes les formes de l'azote soluble : l'azote nitrique, l'azote ammoniacal, ou des amines, ou même des albuminoïdes solubles (I. Pouget et D. Chouchac); mais les formes solubles étant absorbées, c'est la mobilisation de nouvelles quantités d'azote organique qui maintient l'alimentation de la récolte. Deux questions importantes se posent :

Avec quelle vitesse les matières organiques du sol se décomposent-elles ?

Quelle est l'intensité de la fixation de l'azote par nos terres ?

Ces deux questions peuvent être étudiées simultanément. En remplissant des récipients (assez volumineux de préférence, pour faire la culture des plantes dans les conditions normales de pluviométrie et de température) de terres bien connues et rendues homogènes, on peut y faire des cultures successives, en déterminant l'azote dans les eaux d'infiltration, dans les récoltes et dans la terre au début de la mise en train de l'expérience et à la fin. Dans ces conditions, seule la perte de l'azote nitrique dans l'atmosphère (par la dénitrification) reste non déterminée.

D'autre part, il est à remarquer qu'une expérience de cette importance demande beaucoup de temps et se heurte à la faible précision des méthodes de dosage de l'azote organique dans les terres.

Cette expérience, suivie au moins pendant dix ans, pourrait renseigner sur la nécessité de s'inquiéter, dans l'avenir, du maintien de la fertilité par l'emploi des engrais azotés, dans les terres où, à présent, ces engrais paraissent superflus.

Une expérience de ce genre a été entreprise en Californie par « California Agricultural Experiment Station » avec treize terres différentes; l'expérience a été commencée en 1915 et finie en 1928. Les rendements en orge ont très sensiblement diminué, et la teneur de la terre en azote a baissé très considérablement dans les terres en culture continue et sensiblement, quoique moins, dans les terres en jachère.

Quant aux terres nord-africaines, des expériences précises n'ont pas

été faites. Bornons-nous à dire que plusieurs agriculteurs trouvent que l'assolement biennal jachère-blé leur fournit, après trente ans d'exploitation, des récoltes aussi bonnes qu'aux premières années, en n'employant que des engrais phosphatés; que d'autres, par contre, constatent déjà des diminutions sensibles de rendements et cherchent le remède dans les engrais; après avoir commencé par le superphosphate, on arrive, dans de nombreuses localités, à l'emploi du superpotassique. Quelques agriculteurs des régions assez pluvieuses commencent à s'intéresser de plus en plus aux engrais azotés.

V. Résumé des recherches de laboratoire

L'étude sur l'accroissement du Florence 135 fournit des données importantes à connaître sur l'assimilation des éléments fertilisants par cette variété, semée le 1er décembre, après une jachère. Quant à l'azote, objet de notre étude, il est absorbé de manière assez différente de celle qu'indique Garola : nos jachères, riches en azote nitrique, déterminent une absorption plus grande en janvier, février et début de mars; nous avons constaté un certain ralentissement vers la fin de mars et le commencement d'avril, une nouvelle reprise d'absorption en avril, puis le ralentissement avec l'arrêt de la vie des plantes. En quelques mots, l'alimentation azotée de la récolte est, chez nous, plus facile que dans les conditions où expérimentait Garola.

L'étude sur le régime de l'azote nitrique dans une terre argilo-calcaire du Service Botanique et Agronomique de Tunisie nous a permis de montrer que le travail du sol est le moyen de régler la quantité d'azote assimilable du sol, au moins pour un certain temps. Une jachère peut accumuler 100 et même 120 kilos d'azote nitrique: un champ ayant donné une récolte de blé, s'il est bien labouré, peut en avoir près de 70 kilos par hectare.

Notre terre est, donc, aussi riche en azote que quelques terres, probablement des plus fertiles, qu'avait étudiées Dehérain, et de beaucoup supérieure à celle de Rothamsted.

Cependant, les pluies et les besoins de la récolte déterminent une pauvreté, relative et passagère, en azote assimilable vers la fin de mars et les premiers jours d'avril. Ce manque d'azote, incontestablement établi, nous a incité à entreprendre une longue série d'expériences dans les champs pour déterminer l'efficacité des engrais azotés appliqués au printemps. Nous allons les voir dans le chapitre suivant. Nous avons choisi des dates pour les applications des engrais azotés en supposant que la meilleure époque est le 15 février; nous

les avons choisies exprès plus tôt et plus tard pour nous rendre compte de l'effet d'une application anticipée ou différée.

La richesse des terres en azote nitrique permet de prévoir que le blé après la jachère peut avoir un besoin très faible en azote supplémentaire apporté par les engrais; ce besoin peut être plus considérable après une culture.

Dans le chapitre des drainages, nous avons étudié la concentration des solutions du sol en azote nitrique. Cette concentration peut arriver à un chiffre assez élevé de 240 mgr. en été et, à la profondeur de 90 centimètres, une concentration qui dépend du caractère des pluies : les averses provoquent une diffusion des nitrates du sol; la pluie fine les fait descendre sans changer leur concentration aussi fortement que les premières. Nous avons cherché à résoudre la question des pertes d'azote nitrique par les infiltrations dans le sous-sol profond, inaccessible aux racines. Nous avons présenté un assez grand nombre de données dont l'ensemble démontre que l'azote nitrique peut être perdu par l'infiltration dans les régions à terre moyennement perméable et recevant plus de 500 millimètres de pluie. Si l'azote nitrique dans les régions pluvieuses est régulièrement perdu par l'infiltration, la réalisation de la culture continue ne se heurte qu'à la question des mauvaises herbes et du matériel agricole. Quant aux régions à pluviométrie plus faible, la conservation de la jachère peut être considérée comme imposée par le climat.

Pour se prononcer sur l'époque d'application d'un engrais azoté, il faut connaître sa destinée dans le sol : dans le chapitre sur la nitrification des engrais, nous avons étudié avec minutie quelques exemples de nitrification, en faisant varier les engrais et les terres. Cette étude nous a permis d'apporter des précisions sur la vitesse de ce phénomène. Nous avons montré que l'urée, le sulfate d'ammoniaque et le sang desséché — les engrais où l'azote est le seul élément fertilisant — nitrifient rapidement; que les engrais où l'azote est associé à l'acide phosphorique en fortes quantités nitrifient plus lentement et que leur nitrification semble être accompagnée d'un passage plus marqué à l'état d'azote organique.

La nitrification de la cianamide dans une terre dépourvue de calcaire a été étudiée dans une note précédente (L. Y., 1929 b, p. 159); elle se montre plus lente que celle du sulfate d'ammoniaque; le retard est de 30 jours si l'on opère à la température du printemps.

Parallèlement à l'étude de la nitrification, nous avons pu montrer que la dénitrification est faible dans notre terre argilo-calcaire et qu'elle est forte dans des terres dépourvues de calcaire. La dénitrification peut conduire à l'accumulation de l'azote organique ou peut-

être à une pure perte, avec libération de l'azote dans l'atmosphère. Mais nous n'avons pas pu saisir le mode de distinction entre ces deux terres, qui nous aurait permis de classer une terre donnée dans la catégorie des « dénitrifiantes en pure perte » ou des « dénitrifiantes avec la transformation en azote organique ».

Enfin, nous avons ébauché l'étude de l'azote ammoniacal.

Il reste encore, pour que l'étude de l'azote soit complète, d'entreprendre des travaux de longue durée pour déterminer l'intensité de la fixation de l'azote atmosphérique et de la vitesse de la destruction des matières organiques du sol.

***

En entreprenant l'étude sur la nitrification des engrais azotés, dans une terre argilo-calcaire, nous avons voulu trouver la réponse à une question qui peut intéresser l'application des engrais azotés sur le blé. Puisque nous avons démontré que l'alimentation azotée la plus déficitaire se produit à la fin mars, il faudrait trouver un engrais qui, appliqué aux semailles ou dès les premiers jours de février au plus tard, pourrait assurer l'alimentation convenable du blé principalement en mars. L'application plus tardive rend l'enfouissement de l'engrais impossible, parce que le blé devient trop grand.

Dans notre étude, nous avons obtenu le maximum d'action [1] du sulfate d'ammoniaque, 50 jours après l'application;

De l'urée, 50 jours après l'application;

Du phosphate ammoniaco-magnésien chimique, 90 jours après l'application;

Du phosphate ammoniaco-magnésien commercial, 75 jours après l'application;

Du phosphate ammoniaco-potassique, 75 jours après l'application.

Si l'expérience était commencée le 1er février, par exemple, ces durées ne seraient que peu raccourcies, parce que c'est seulement vers la fin d'avril que le sol commence à se réchauffer rapidement.

Les nitrates (de chaux ou de soude) devraient être épandus vers le 1er mars pour que les pluies aient le temps de les incorporer au sol; or, à ce moment, les plantes sont grandes; l'épandage est difficile, et les pluies peuvent manquer également.

Le sulfate d'ammoniaque peut être épandu vers le 1er février et suivi d'un vigoureux hersage. Il est impossible que quelques pluies

(1) On a pris pour le maximum d'action le moment où 60 % d'azote de l'engrais sont nitrifiés.

ne viennent en février pour parfaire son incorporation au sol et pour diffuser les nitrates formés.

Quant aux phosphates ammoniacaux cités, ils auraient l'avantage de pouvoir s'appliquer en plein mois de janvier, quand le hersage est facile en même temps qu'utile pour la destruction des mauvaises herbes.

⁂

Doit-on avoir une grande confiance dans l'emploi des engrais azotés au printemps ?

Le succès dépend de plusieurs conditions.

En général, si la pluviométrie annuelle est inférieure à 450 millimètres, l'emploi des engrais azotés dans les terres ayant plus de 1 ‰ d'azote n'est pas utile.

Une autre considération est relative à la répartition des pluies. Si l'automne et l'hiver ont été secs et beaux, les semailles de novembre réussies fournissent des plantes bien nourries (les solutions du sol se maintiennent concentrées) et fortement tallées; les pluies de printemps, même fortes, n'arriveront pas à emporter les nitrates du sol à une grande profondeur, et les racines les utiliseront. Aucun engrais azoté ne donnera une augmentation de rendement dans une terre moyennement productive, parce que, en années pareilles, c'est surtout la sécheresse qui est à craindre.

Si l'automne et l'hiver sont pluvieux, le cas est tout différent. Les nitrates sont emportés à une grande profondeur. Il faut aider la plante, et l'on peut faire une application d'engrais azoté pour donner à la végétation plus de vigueur; la couleur des plantes peut donner des indications utiles. Faut-il mettre l'engrais en janvier, en février ou en mars ? Nous n'avons pas eu la possibilité de faire des essais suffisamment nombreux pour résoudre cette question; il est possible que l'application d'un engrais (comme le nitrate d'ammoniaque ou un autre engrais ammonitrique) en une seule fois puisse donner un bon effet; ou, il est possible, que l'application en deux fois permettrait mieux d'obtenir l'effet cherché.

Si la région est pluvieuse, à moyenne annuelle supérieure à 500^{mm} de pluie, il est important de faire des semis précoces pour que le blé ait de bonne heure des racines puissantes; comme l'azote nitrique du sol est en partie utilisé par la végétation et en partie emporté par les eaux d'infiltration, l'application des engrais azotés au printemps doit avoir un très bon effet. Naturellement, une fumure phosphopotassique doit être donnée aux semailles, pour que l'azote puisse, sans faute, produire tout son effet.

Enfin, si le sol est peu fertile (pauvre en azote nitrique après la jachère), ou si, étant fertile, il a donné quelques récoltes déjà, il demande des fumures intenses; superphosphates et engrais potassique sont indispensables; et l'azote doit être donné au printemps ou en automne, suivant la pluviométrie et l'époque des semailles.

Il reste à remarquer qu'il est difficile de prévoir tous les cas qui peuvent se présenter dans la pratique agricole; c'est seulement en étudiant la météorologie de la localité en question, la nature des terres et les autres conditions de l'exploitation que l'on peut se créer une idée à peu près exacte sur les assolements à choisir et sur les engrais à employer. Quelques essais, sur de petites surfaces, pour ne pas avoir de grands déboires, permettront de se rendre compte des erreurs des conclusions établies *a priori* et d'y apporter quelques retouches.

B. EXPERIENCES SUR LE TERRAIN

a. A Maison-Carrée, a l'Institut Agricole d'Algérie

Le Laboratoire d'Agrologie de l'Institut Agricole d'Algérie était doté d'un champ d'expériences comprenant 4 séries de 30 parcelles de 2^{m2}. La composition de la terre a été indiquée (chap. A, § 1, c, éch. B); c'est une terre argileuse, dépourvue de calcaire libre, contenant 1 ‰ d'azote, 0,75 ‰ d'acide phosphorique ($P^2 O^5$) et 3 ‰ de potasse. La chaux, dosée par la méthode au permanganate, s'y trouve en proportion de 7,5 ‰.

En 1927, on y a ajouté 24 parcelles de 4^{m2}.

Les expériences avec les engrais azotés ont été commencées en 1926-27. Les engrais azotés accompagnés des engrais phosphatés et potassiques ont été appliqués en automne, sur le blé tendre Mahon 11, et n'ont pas donné de résultats. Comme l'expérience a été conduite par la méthode des parcelles répétées et sur une terre qui, l'année précédente, était déjà cultivée en céréales, l'inefficacité des engrais azotés nous a paru intéressante : d'une part, parce qu'ayant foi dans les engrais, nous avons été surpris de leur inaction; d'autre part, parce que les engrais azotés étaient surtout à étudier, à cause de leur faible emploi dans l'Afrique du Nord.

Pour cette raison, en 1927-28, nous avons pu réaliser un assez vaste programme de travail :

le champ d'expérience était utilisé pour les essais avec les engrais phosphatés, potassiques et azotés;

l'étude de la nitrification du sulfate d'ammoniaque et de la cyanamide était commencée;

la méthode de dosage de l'azote nitrique dans la terre était étudiée; les dosages étaient commencés sur les terres en place;

une expérience dans la ferme d'Oued-Smar nous était permise sur l'avoine (L. Y., 1929 b, p. 128) sur des parcelles d'un demi-hectare;

une autre expérience avec les engrais a été faite avec la pomme de terre, dans une terre rouge de composition voisine de l'échantillon A indiqué (chap. A, § 1, c).

Ces expériences ont abouti à des résultats importants :

L'étude sur la nitrification des engrais nous a permis de nous prononcer sur l'intensité de la dénitrification dans les terres manquant de calcaire; elle nous a incité plus tard à reprendre la question à L'Ariana, dans une terre argilo-calcaire.

L'étude de l'azote nitrique des terres, continuée à L'Ariana, nous a donné une série de chiffres de grand intérêt, malgré l'impossibilité d'opérer régulièrement sur la même parcelle de terre.

Les essais au champ d'expérience ont indiqué que la terre peut être considérée comme productive sans apport d'engrais, de quelque nature qu'ils soient, sauf ceux qui apportent de la chaux; le nitrate de chaux ammoniacal s'est montré remarquable pour l'application au printemps.

Mais, beaucoup plus que les engrais, l'époque des semailles a eu une influence marquée.

Cela nous a permis de conclure qu'une terre pareille à celle du champ d'expérience de l'Institut est capable de fournir de bons rendements en blé à la condition d'être bien travaillée et ensemencée à temps. C'est la conclusion principale.

Les engrais phosphatés et potassiques n'ont pas réagi.

Les engrais azotés avaient une action faible s'ils étaient employés aux semailles. On pouvait constater cependant que leur action devenait de plus en plus sensible à mesure que le blé était semé plus tardivement et que l'épandage des engrais se faisait tard (nous avons même essayé l'épandage au 23 mars).

Ces résumés, avec plus de détails, ont été publiés dans notre première note (L. Y., 1929 b, pp. 125-130).

***

L'expérience avec la pomme de terre irriguée, commencée le 4 avril et finie le 13 juillet, a démontré l'importance des engrais dans une

terre fertile, mais appauvrie par les pluies d'hiver. Cette expérience sur des parcelles de 50^{m2} a donné des résultats indiqués dans le tableau 21 ci-après.

(Tous les chiffres du tableau qui suit (tableau 21) sont rapportés à l'hectare.)

La potasse, sans azote, a donné une légère diminution de rendement. L'azote sans potasse a, par contre, sensiblement augmenté la récolte. Les deux éléments ensemble ont une action très marquée et le rendement a dépassé celui obtenu avec l'azote seul, en donnant le plus grand bénéfice. Le soufre n'a pas réagi. Le rendement du témoin a été déjà assez bon. Cette expérience confirme que la pomme de terre réussit bien sur des terres légèrement acides, qu'elle est surtout sensible au sulfate d'ammoniaque.

Il résulte de l'ensemble de ces constatations que si la plante a une durée de végétation longue, elle profite d'une partie de l'azote nitrique accumulé dans le sol; comme elle occupe longtemps le terrain et l'exploite au mieux par ses racines, les engrais ont peu d'action; le sol pourvoit seul à une alimentation suffisante de la récolte. Mais dès que la plante doit se développer dans un temps court, le besoin d'engrais devient grand.

Enfin, dans l'expérience (dont on pourra voir les détails : L. Y., 1930 b) avec application des engrais azotés sur l'avoine à Oued-Smar, semée le 22 décembre 1927, les engrais azotés ont à peine marqué leur action. Cependant, ce champ a été occupé l'année précédente par le blé et les semailles ont été faites tardivement, — deux conditions qui devraient être plutôt favorables à une bonne action des engrais. La cause exacte de cette médiocrité des rendements (près de 7 quintaux de grain par hectare) n'est pas claire; probablement, la préparation de la terre était insuffisante; d'autre part, on aurait eu avantage à utiliser, pour cette semaille tardive, une orge, qui est beaucoup moins exigeante en humidité de la terre que l'avoine. Enfin, il se peut que la chaux était le facteur limitant, quoique l'avoine s'accommode facilement de terres légèrement acides.

b. Au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, a L'Ariana

1928-29

Nous avons étudié l'action des engrais azotés, — sulfate d'ammoniaque et nitrate de soude, — appliqués en couverture, sans enfouissement, en hiver et au printemps (L. Y., 1930 b, pp. 145-155).

Cinq époques ont été essayées pour le sulfate d'ammoniaque et deux pour le nitrate de soude; en employant 50 kilos d'azote par hec-

TABLEAU 21

Action de l'azote, de la potasse et du soufre sur la pomme de terre (Saucisse) à Maison-Carrée 1928

ENGRAIS, EN KILOS par hectare				Rendement en tubercules	Excédent par rapport au témoin	Valeur de l'excédent	Prix des engrais	Bénéfice	*REMARQUES*
Azote	P^2O^5	K^2O	Soufre						
50	60	40	0	21.940	5.440	2.720	550	2.170	1 kilo de pomme de terre est compté 0 fr. 50
0	60	80	0	15.940	— 560	— 280	322	— 607	
0	60	0	0	16.500	Témoin	Témoin			
50	60	80	80	21.700	5.200	2.600	755	1.845	
50	60	0	0	20.220	3.720	1.860	453	1.407	

Azote est donné sous forme de sulfate d'ammoniaque.

P^2O^5 — — de superphosphate.

K^2O — — de sulfate de potasse.

tare, nous avons obtenu, à la récolte, les excédents de grain suivants, comparés au témoin sans azote (rapporté à l'hectare) :

Engrais	Epandage	Excédent, qx.
Nitrate de soude.....	18 février	3.65
—	6 avril	4.64
Sulfate d'ammoniaque	1 janvier	3.11
—	1 février	4.42
—	25 —	2.65
—	15 mars	4.84
—	5 avril	1.85

Le témoin a donné un très bon rendement de 26 qx 25 par hectare. (Richelle 110 c, après jachère.)

1929-30

Nous avons découpé des parcelles de 5 mètres carrés pour essayer de nouveau l'application des engrais azotés en couverture, le superphosphate et le sulfate de potasse étant appliqués quelques jours avant les semailles. L'azote a été donné à raison de 25 kilos à l'hectare aux époques suivantes :

Témoin sans azote.....	5 parcelles	
Sulfate d'amm.....	5 —	20 janvier
	5 —	20 février
	5 —	20 mars
Nitrate de soude.....	5 —	15 février
	5 —	15 mars
	5 —	5 avril

Les conditions météorologiques de l'année ont été indiquées dans l'Introduction. Nous n'avons pas pu constater de différences entre les parcelles de notre champ; le rendement des témoins, comme celui des parcelles avec l'azote, a été de 19 quintaux de grain (Florence 135, semé après l'orge-fourrage).

1930-31

Deux essais ont été entrepris :

1) Dans un champ de Florence 135 semé, après jachère, le 3 décembre, nous avons choisi un endroit qui présentait une végétation bien uniforme et exempte de mauvaises herbes. Nous avons découpé des parcelles de $2^m \times 5^m = 10$ mètres carrés, pour essayer l'action des

engrais azotés en couverture. Le champ n'a pas reçu de superpotassique (le champ d'expérience organisé primitivement a été détruit par l'inondation causée par les pluies de décembre); ce champ, à peu de répétitions, a été organisé à la hâte, pour ne pas avoir une année sans aucune expérience sur l'époque d'application des engrais azotés.

Sans entrer dans les détails de l'expérience, disons que les engrais azotés ont été employés en quantités correspondant à 40 kilos d'azote à l'hectare. Le printemps fut sec, défavorable à l'action des engrais azotés. Les rendements enregistrés ont été :

	GRAIN qx	Azote ‰ du grain à 15 % d'hum.
Témoin (essais sur 6 parcelles)	23.51	17.58
Sulfate d'amm., le 12 janvier (2 parcelles).....	24.60	19.66
— 21 février —	23.75	18.36
— 13 mars —	24.60	18.74
Nitrate de soude, le 12 janvier —	25.32	19.55
— 21 février —	25.52	19.45
— 18 mars —	23.30	20.80
Urée, le 12 janvier (1 parcelle).....	23.60	18.74
Nitrate de chaux amm., le 12 janvier —	28.40	—
— 21 février —	24.60	—
— 18 mars —	24.80	—
Nitrate de soude en deux fois, 28 févr. et 18 mars (2 parc.).	21.92	—

A part les résultats anormaux, donnés par la première application de nitrate de chaux et par l'application de nitrate de soude en deux fois, tous les autres résultats sont d'accord : la récolte sans engrais, après la jachère, est de 23 qx 5 par hectare; les engrais azotés essayés ont donné une augmentation variant entre 1 et 2 quintaux, augmentation faible.

2) En même temps que l'essai des engrais azotés après la jachère, nous avons entrepris un essai pareil sur l'Irakié, venant après la vesce, sur une terre argilo-calcaire, mais argileuse. Aucun engrais n'a été employé avant les semailles. Celles-ci ont été faites le 1er décembre.

Les engrais azotés ont été essayés sur des parcelles de 20^{m2} (4 × 5^{m}) en quantités qui correspondent à 20 kilos d'azote à l'hectare.

Au cours de la végétation, l'action des engrais se manifestait très peu. Le champ avait un aspect très médiocre.

A la récolte, nous avons obtenu :

	GRAIN qx	Azote ‰ du grain à 15 % hum.
Rendement des 4 témoins, rapporté à l'hectare..	7.93	15.77
Excédent dû au :		
Sulfate d'ammoniaque appliqué le 20 février sur 2 parcelles.....	0.19	16 21
Nitrate de soude — le 20 — — 2 —	3.97	
— — — le 18 mars — 2 —	0.87	
Urée — le 20 février — 2 —	0.61	16.72
Nitrate de chaux ammoniacal le 20 — — 2 —	1.92	
— — — le 18 mars — 2 —	1.52	

Comme le montrent ces résultats disparates, l'expérience est mal réussie à cause d'un nombre insuffisant de parcelles. Mais elle donne cependant une indication précieuse. Sur une terre lourde, ayant subi les pluies abondantes de décembre, les engrais azotés seuls n'ont pas pu relever sensiblement la récolte.

Faut-il considérer l'expérience comme non réussie ?

Evidemment, elle mérite des reproches, parce que les chiffres obtenus sont irréguliers, mais elle reste correcte. Une expérience peut être classée comme non réussie si les insectes ou les oiseaux ont endommagé quelques parcelles et n'ont pas touché les autres; si une inondation a envahi inégalement les parcelles et a créé d'autres causes de variation des rendements que celles dues à l'expérimentation, etc.

L'expérience est ici correcte, elle nous répond que l'augmentation moyenne due à tous les engrais azotés essayés est de 1 ql 51 de grain pour 20 kilos d'azote dépensés; c'est l'explication de cette action trop faible que nous n'avons pas réussi à trouver.

En effet, nous possédons déjà quelques éléments d'interprétation : nous connaissons que le champ après la vesce peut accumuler de 45 à 70 kilos d'azote nitrique, suivant sa préparation et son activité microbienne; supposons même qu'il contenait 40 kilos seulement d'azote nitrique; ajoutons qu'au cours de l'hiver le blé pouvait profiter de l'azote rendu assimilable par les microbes, et nous arrivons au chiffre de 60 kilos (au minimum) d'azote utilisable, qui devraient assurer une récolte de 15 quintaux au moins. D'autre part, en examinant la teneur du grain en azote, nous constatons une augmentation faible par les engrais... parce que ce n'est point l'azote qui manquait dans notre cas.

Nous ne pouvons pas accuser le manque d'eau, parce que le blé après vesce a laissé le sol plus humide que le blé après jachère : donc, non seulement la plante n'a pas pu utiliser convenablement l'azote, mais l'eau également reste en excédent.

Ayant ainsi serré le sujet, nous pouvons admettre que c'est un autre élément qui manque dans la terre « fatiguée », le plus probablement l'acide phosphorique: ou bien les mauvaises herbes ont gêné le développement du blé; ou bien le tassement trop grand du sol par les eaux de pluie a provoqué une certaine asphyxie des racines.

Les mauvaises herbes ont été arrachées à la main sur nos parcelles d'expériences pour éliminer leur action.

Si nous comparons les terres qui nous ont donné des déboires, leurs compositions respectives sont :

		Sable grossier		Sable fin		Argile et organiques	Humus	Azote	P_2O_5	K_2O
		Siliceux	Calcaire	Siliceux	Calcaire					
Oued-Smar	0-30 cm.	220	0	410	(11.5)	358.5	7.05	1.45	0.63	
	30-60 cm.	175	0	360	(12.2)	452.8	5.4	1.02	0.45	
Irakié 1930-31	0-30 cm.	127	68.5	182	280	342.5	4.3	1.17	1.50	6.8
	30-60 cm.	125	63.0	138	300	374	5.5			

Ces chiffres indiquent une trop forte teneur en argile. Evidemment, chaque terre a ses défauts propres; à Oued-Smar, la terre manque totalement de calcaire et paraît être pauvre en acide phosphorique; mais celle du Service Botanique et Agronomique semble être bien constituée et riche; seule la teneur en argile est élevée.

Si la question n'est pas résolue, du moins on commence à voir qu'il faut chercher la solution dans l'aération insuffisante du sol, trop riche en argile, ou bien supposer que l'acide phosphorique n'est pas suffisamment assimilable et, pour restituer la fertilité à ce sol, il faut le laisser en jachère ou lui incorporer de l'acide phosphorique en quantité suffisante.

L'explication n'est pas prouvée, elle est seulement supposée, et elle reste à vérifier. Il est cependant important de constater que les mauvais rendements quelquefois constatés ne sont pas toujours imputables au manque d'azote.

1931-32

Nous avons choisi pour les expériences de cette année une terre riche, mais affaiblie par les récoltes précédentes. Nos analyses, sur les parcelles voisines, nous donnent les caractéristiques suivantes :

		Profondeur en cm.	
		0-30	30-60
Cailloux et gravier		76	21
Terre fine		924	979
% de terre fine : Sable grossier	siliceux	217.5	180
— —	calcaire	120	110
Sable fin	siliceux	160	125
— —	calcaire	255	303
Argile + organiques (+ solubles)		262 + 17.5	279 + 12
Humus		5	3.6
Azote 1.24	K^2O	3.8	
P^2O^5 2.60	Mg 0	6.6	

Le blé que nous avons choisi, l'Irakié, est assez exigeant, il était semé à la fin de l'assolement, après la vesce. Les parcelles ont été de 20^{m2} chacune, avec cinq répétitions pour chaque formule. Les formules essayées, établies à raison de 40 kilos d'azote par hectare, 300 kilos de superphosphate, 150 kilos de SO^4K^2, ainsi que l'indique le tableau qui suit, ont donné les résultats suivants (cette expérience fut conduite par M. V. Novikoff, préparateur du laboratoire) :

	Rendement en grain		Azote % de grain sec	
	Sans superpotassique	Avec superpotassique	Sans superpotassique	Avec superpotassique
	Qx	Qx		
Sans azote	10.13	10.66	1.84	1.79
Nitrate de soude, le 6 novembre.	10.32	12.64	1.77	1.63
— — le 15 janvier..	16.26	14.58	1.92	1.77
— — le 5 mars.....	13 23	12.78	2.12	2.18
Sulfate d'ammoniaque, le 6 novembre.	10.21	12 07	1.77	1.78
— — le 3 février....	13.33	13.02	1.98	1.98
— — le 2 mars.....	12.94	13.31	1.98	1.94

La répartition des pluies a favorisé surtout l'action des engrais azotés appliqués au 15 janvier.

Cette expérience montre que l'application des engrais azotés en automne fut sans effet important; la meilleure date d'application des engrais azotés, à cause des conditions météorologiques particulières de l'année, n'est pas février, mais janvier.

Le superpotassique n'a pas eu une action importante; ainsi, l'analyse chimique des terres, si elle indique une bonne teneur en acide phosphorique et potasse, peut servir de guide, sous notre climat, dans l'emploi des engrais.

Cette expérience ne demande plus de commentaires, parce que l'épiaison a eu lieu à peu près le même jour sur toutes les parcelles et parce que les différences n'ont pas pu être saisies au moment de la maturité, cette dernière étant hâtée par le manque d'eau en mai.

On peut seulement remarquer que les parcelles ont été envahies de moutarde et mélilot et que l'action des engrais aurait été plus marquée en leur absence.

La teneur du grain en azote, déterminée par M. Novikoff, confirme la règle générale qui dit que plus l'application est tardive, plus les grains sont riches en matières azotées.

On peut condenser les résultats obtenus dans les expériences en plein champ faites au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, pour en avoir une impression plus entière. Comme toutes les expériences portaient principalement sur la détermination de la meilleure époque de l'emploi des engrais azotés, parmi lesquels nous nous sommes servi presque exclusivement du nitrate de soude et du sulfate d'ammoniaque, nous allons prendre seulement les meilleurs rendements de chaque année pour chercher la meilleure solution du problème.

Année	Culture précédente	Variété semée	Quantité d'azote du		Date de l'application	Augmentation de rendement du grain
			NO^3 Na	SO^4 Am^2		
						Qx
1928-29....	jachère	Richelle 110 c	50		6 avril	4.64
—	—	—		50	15 mars	4.84
1929-30....	orge fourr.	Florence 135	25	25	variable	0
1930-31....	jachère	—	40		21 février	2.01
—	—	—		40	12 janvier	1.09
—	vesce	Irakié	20		20 février	2.00 environ
1931-32....	—	Irakié	40		15 janvier	6.13
—	—	—		40	3 février	3.20

Ce tableau permet de saisir que l'effet des engrais est variable, ainsi que la meilleure époque de leur application. Il faut en chercher la cause dans la diversité des conditions météorologiques.

La pluviométrie totale des années a été de :

1928-29	604	millimètres
1929-30	421	—
1930-31	505	—
1931-32	582	—

Comme, en 1929-30, les engrais azotés n'ont pas augmenté le rendement, on peut formuler la conclusion que, dans le cas d'une pluviométrie d'année égale ou inférieure à 420 millimètres, l'emploi des engrais azotés devient superflu dans une terre moyenne et bien préparée.

En 1930-31, l'augmentation de rendement a été assez faible. Quoiqu'il y eut quelques causes d'insuccès dues à l'exécution de cette expérience, on peut conclure que, dans les conditions d'une pluviométrie annuelle de 500 millimètres, les engrais azotés commencent à avoir une action favorable.

En 1928-29, l'augmentation de rendement a été régulière et assez notable. Dans les conditions de 600 millimètres de pluie, les engrais azotés deviennent un auxiliaire important dans la culture des céréales.

En 1931-32, dans le cas du nitrate de soude, on a enregistré une très grande augmentation de la récolte. La conclusion précédente se trouve confirmée.

Quant à la meilleure époque d'application de ces engrais, elle se déplace en relation avec la répartition des pluies. En 1928-29, les pluies importantes de mars ont déterminé l'action la plus favorable des applications tardives; en 1931-32, les conditions spéciales du mois de décembre (293 millimètres) ont privé la terre des réserves en azote assimilable, et l'application précoce, en janvier, d'une assez forte fumure azotée s'est montrée la plus avantageuse.

C. EXPERIENCES DANS LES BACS DE 90 CENTIMETRES DE PROFONDEUR

Ayant voulu, en 1930-31, expérimenter avec les terres fatiguées par les cultures précédentes, nous avons utilisé nos bacs métalliques de 90 centimètres de profondeur, comme c'est indiqué dans le tableau 11.

Les sept bacs ont été ensemencés en blé Mahon (rustique) faisant

suite au Florence de 1929-30. Nous avons essayé l'action du sulfate d'ammoniaque incorporé au sol à des époques de plus en plus tardives. L'azote incorporé au bac correspondait à 85 kilos par hectare et était toujours accompagné de superhosphate et de sulfate de potasse en quantités fortes. Les époques essayées sont indiquées dans le tableau qui suit.

La végétation a eu lieu dans des conditions normales, sauf une inondation d'un jour au mois de décembre, qui n'a pas eu de résultats fâcheux.

Les observations relatives à l'action du sulfate d'ammoniaque peuvent se résumer brièvement de la façon suivante :

Le tallage a eu lieu le 22 décembre; l'application de sulfate d'ammoniaque aux semailles l'a avancé de 7-10 jours. La première application (aux semailles) a provoqué une avance incontestable du N° 10 sur tous les autres : les plantes sont vigoureuses, de bonne taille et de belle couleur en janvier, février et début de mars. Dans la suite, les feuilles de la base commencent à jaunir d'abord (décomposition de la chlorophylle) et brunir (mort complète) beaucoup plus que chez les autres. Les plantes ont des feuilles très enroulées déjà le 31 mars : elles souffrent beaucoup plus de la sécheresse que les autres.

Le N° 9, qui a reçu le sulfate d'ammoniaque le 3 janvier, commence à changer de couleur vers le 10 janvier, la couleur se maintient supérieure au témoin, jusqu'au 10 avril au moins. Le développement des plantes est bon; le N° 9 manifeste le manque d'eau et d'azote plus tard, et moins que le N° 10.

Le N° 8 a une couleur très foncée le 31 mars; son développement foliacé est peu influencé par l'engrais.

Le N° 7, pour une raison inconnue, a été légèrement inférieur aux autres comme développement des feuilles et comme couleur.

Le N° 6, qui a reçu le sulfate d'ammoniaque le 10 mars, avait une belle couleur fin mars et au début d'avril. Il souffre moins de la sécheresse à la fin de mars que les N°s 10 et 9; le N° 8 manifestait un léger manque d'eau.

Le 30 avril, un mois avant la récolte, nous avons enregistré :

	Feuilles vivantes	Couleurs des feuilles vivantes
N° 10	— Moitié de la supérieure	
9	— 2 supérieures très enroulées	vert clair
8	— 2 — — —	assez verte
7	— 3 — — —	verte
6	— 2 — — —	très verte
5	— 5 — pas —	vert clair
4	— 2 — — —	vert clair

Ainsi, l'application du 20 février et celle du 10 mars seules agissent fortement sur l'alimentation azotée vers la fin d'avril; celle du 3 février, N° 8, s'épuise vers le 30 avril. Le sulfate d'ammoniaque agit donc pendant trois mois, durée qui est la même que celle de la nitrification.

Nous avons constaté que les extrémités des épis du N° 9 ont été stériles; un refroidissement au moment de la floraison est à supposer (gelée ?). Il indique le rendement, qui paraît anormal, comparé avec les autres chiffres.

L'épiaison et les résultats de la récolte sont réunis dans le tableau 22.

Ainsi, l'épiaison et la maturité ont été très régulièrement avancées par le sulfate d'ammoniaque; la hauteur, par contre, a été diminuée.

Le nombre d'épis obtenus à la récolte est indiqué par deux chiffres : le premier indique les épis bons (grands et lourds); le deuxième les épis petits. L'application de sulfate d'ammoniaque aux semailles, qui a beaucoup augmenté le tallage, a donné un grand nombre d'épis petits, insuffisamment développés. Toutes les autres applications n'ont pas augmenté sensiblement le nombre d'épis, qui est presque le même que chez le témoin sans azote, mais ont contribué à leur meilleur développement.

Le nombre des grains le plus élevé est obtenu avec l'application tardive de sulfate d'ammoniaque.

Ces dénombrements expliquent pourquoi le rendement en grain le meilleur est obtenu avec l'application tardive d'azote : elle n'augmente pas autant la dépense d'eau que l'emploi précoce et agit exactement au moment de la formation du grain.

Est-ce exact pour toutes les variétés du blé ? Il y a beaucoup de raisons pour le croire.

Cependant, les chiffres de rendement en grain n'indiquent pas un seul optimum, mais deux: le plus grand correspond à l'application d'engrais tardive du 20 mars, suivie d'un hersage (qui, dans les bacs, se fait aisément avec un couteau, mais qui est impossible dans les conditions de grande culture); un autre, presque aussi grand, correspond à l'application aux semailles; le blé montre donc deux époques ayant une grande importance physiologique :

1) germination, tallage et 2) formation du grain; autrement dit, 1) le premier mois après les semailles et 2) un mois avant l'épiaison à fin de la floraison.

Les résultats de cette expérience sont en contradiction avec ceux fournis la même année par Irakié en pleine terre; mais, pour des rai-

TABLEAU 22

Expérience avec l'application de sulfate d'ammoniaque à des époques différentes, conduite dans les bacs de 90 cm. de profondeur

Service Botanique et Agronomique de Tunisie, 1930-31

N°		Epiaison	Maturité	Hauteur	Nb. d'épis	P. total	Grain	Nb. des grains	P. de 1000 grains	Aspect
10	aux semailles..	14.IV	20. V	79	16+10	90.050	13.509	313	43.16	vitreux, brun
9	3 janvier.....	15 —	21 —	77.5	15+3	78.400	8.427	183	46.05	
8	3 février.....	17 —	22 —	68 5	15+3	62.220	9.897	256	38 66	
7	20 février.....	21 —	26 —	71	15+3	56.500	12.343	300	41.14	
6	10 mars	20 —	26 —	83	16+2	39.250	13.783	350	39.38	
4	pas.....	21 —	27 —	84	10+6	39.920	8.135	187	43.48	50 % env. de farineux

Azote dans la récolte (les chiffres sont obtenus sur la récolte séchée à l'air)

N°	Azote, % de		Azote, en milligrammes dans la récolte du pot			Excédent sur témoin			Azote assimilé en % de l'employé	
	Paille	Grain	Paille	Grain	Total	Paille	Grain	Total	Grain	Total
10	0.207	1.578	158.32	213.13	371.45	98.80	105.88	204.68	21.2	40.9
9	0.277	2.191	193.56	184.63	378.19	134.04	77.38	211.42	15.5	42.3
8	0.279	2.099	146.02	207.75	353.77	86.50	100.50	187.00	20.1	37.4
7	0.280	1.885	124.05	232.66	356.71	64.53	125.41	189.94	25.1	38.0
6	0.277	1.924	70.44	265.20	335.64	10.92	157.95	168.87	31.6	33.8
4	0.187	1 318	59.52	107.25	166.77					

sons expliquées plus haut, l'application de l'engrais super-potassique ne pouvait pas se faire en automne; nous sommes certain que l'action des engrais azotés serait toute autre s'ils pouvaient être employés en complément d'une forte fumure phospho-potassique.

La teneur en azote a été déterminée par un dosage simple dans la paille et par le dosage en double dans le grain pour chaque numéro. La paille du témoin est la plus pauvre en azote. L'application du sulfate d'ammoniaque aux semailles relève peu cette teneur, mais augmente beaucoup la quantité de paille. Toutes les autres applications ont fourni une paille de même teneur azotée, mais la quantité de paille diminue régulièrement si l'on avance l'application de l'engrais vers le 20 mars.

Le grain, en général, mérite les mêmes remarques quant à sa richesse en azote.

Nous avons calculé également la fraction de l'azote de l'engrais qui a été utilisée par la récolte entière et par le grain à part. Si l'utilisation de l'azote par la récolte est la meilleure dans le cas d'une application précoce d'engrais azoté, l'utilisation par le grain se fait inversement, et l'optimum correspond, pour ce dernier, à une application tardive de l'engrais.

Nombreuses sont les personnes qui ne veulent pas prendre en considération ce qui est obtenu dans les pots, disant que dans les champs les choses se passent tout à fait différemment. Certes, un peu différemment, parce qu'il y a encore le sous-sol avec sa réserve en eau.

Pour ceux-ci, nous avons calculé nos rendements en bacs rapportés à l'hectare :

	Grain, en quintaux
N° 10	22,96
N° 9	14,33
N° 8	16,82
N° 7	20,98
N° 6	23,44
N° 4	13,84

Evidemment, on ne peut pas détruire des mauvaises herbes dans le champ aussi bien que dans un bac de 24 centimètres de côté; ni incorporer les engrais avec les mêmes soins. Mais, au lieu de sulfate d'ammoniaque, on peut utiliser les engrais nitriques, qui ne risquent pas de se volatiliser par un temps sec.

***

Nous avons cherché, en 1931-32, à comparer l'application d'azote

en automne avec celle de printemps, après la jachère ou après une autre culture. Malheureusement, les bacs avaient reçu une application d'engrais azotés l'année précédente, et l'action de ces engrais pouvait se superposer à l'action en étude. Pour cette raison, nous allons indiquer les résultats sans y insister outre mesure.

Le blé Irakié fut semé le 17 novembre.

Nous avons obtenu à la récolte :

TABLEAU 23

Expérience avec l'application de l'urée en automne ou au printemps conduite dans les bacs de 90 cm. de profondeur Service Botanique et Agronomique de Tunisie, 1931-32

N°	Hauteur (ém.)	Nombre de plantes	Nombre d'épis	Poids de la paille	Poids du grain	Application de l'urée date
1	90	6	10 + 3	24.200	12.450	4 novembre
2	90	6	9 + 2	26.600	14.200	3 février
3	80	6	7 + 2	14.950	9.350	(Témoin.)
4	81	6	10 + 3	25.450	15.200	3 février
6	75	6	7 + 3	15.300	8.500	(Témoin.)
7	80	6	9	21.550	13.250	4 novembre et 3 février.

Remarque. — Le bac 5 devait recevoir l'azote en automne seulement, mais les insectes du sol ont détruit la récolte et nous avons été obligé de l'exclure.

Nous avons avancé l'application printanière à cause des fortes pluies d'hiver. Les résultats obtenus sont encore une fois en faveur de l'application des engrais azotés au printemps, et sont, aussi bien après la jachère (dont l'excédent de la fertilité a été détruit par les pluies de décembre 1931) qu'après le blé, nettement supérieurs aux témoins.

D. CONCLUSIONS GENERALES DES EXPERIENCES AVEC LES VEGETAUX

Ce bref exposé qui embrasse presque toutes les expériences sur les engrais azotés que nous avons eu la possibilité de réaliser, indique certainement que les conclusions que l'on peut formuler coïncident avec celles que nous a permis d'énoncer notre étude théorique (voir A, ch. V, résumé).

En général, l'activité microbienne des terres maintenues meubles est considérable; une culture de céréales se montre peu exigeante, et ceci explique des résultats beaucoup plus marqués que l'on obtient avec les autres cultures de courte durée, comme la pomme de terre, la tomate, etc.

L'étude des terres fatiguées (à la fin de l'assolement) démontre que leur fertilité, dont nous pouvons juger en nous basant sur les déterminations des quantités d'azote nitrique faites en automne, est inégale. Les terres argileuses deviennent d'une productivité faible qui se corrige difficilement par les engrais. Il est possible de présumer qu'en dehors de l'action déprimante des mauvaises herbes intervient, pour beaucoup, la mobilisation insuffisante des réserves de la terre par les microbes, en particulier la mobilisation de l'acide phosphorique.

Quant à la question principale de cette note, la question de l'azote, nous avons montré qu'un manque d'azote existe au printemps, au mois de mars (L. Y., 1929 b); nous avons montré ensuite, par l'étude des eaux de drainage, que ce manque peut se déplacer dans le temps et changer d'intensité, parce qu'il est déterminé principalement par l'importance et la distribution des pluies de l'année. Les expériences dans les champs démontrent l'augmentation des rendements de céréales par les engrais azotés, même après la jachère, mais cette augmentation est possible certaines années seulement : les années pluvieuses. Si le début de l'hiver est sec et si les pluies se rapportent au printemps, l'emploi des engrais azotés est superflu. Si les pluies de décembre et de janvier sont abondantes, l'application printanière des engrais azotés en couverture devient avantageuse; l'époque peut être choisie assez exactement en tenant compte de l'importance des pluies. Si le mois de décembre est très pluvieux, on peut faire l'application au milieu de janvier; si janvier est pluvieux, on peut se servir des engrais azotés même jusqu'à la fin de février. L'application des engrais azotés au mois de mars se montre souvent avantageuse, mais il faut qu'elle soit suivie de pluies suffisantes pour assurer son action.

Si, dans une terre riche et bien constituée, se trouvant dans une région à 400 millimètres de pluies annuelles, l'emploi des engrais azotés est possible (quoiqu'il demande beaucoup de circonspection), il est logique de penser que les régions plus pluvieuses, à 600 millimètres et au delà, permettent un emploi des engrais beaucoup plus régulier. Il serait bon de s'occuper particulièrement de ces régions, dont la productivité et la prospérité peuvent être considérablement relevées grâce à l'emploi des engrais.

Enfin, rappelons l'expérience avec la pomme de terre, à Maison-Carrée, pour dire que, même dans les régions où les engrais parais-

sent superflus pour le blé, ils peuvent rendre des services avec les autres cultures servant à l'alimentation, à l'élevage ou à l'industrie, et que leur étude s'imposera le jour où l'activité économique du pays deviendra plus grande.

Ce travail, fait à un endroit déterminé, ne peut pas répondre à toutes les questions de la pratique, dans toutes les situations. Cependant, la plupart des terres de la Medjerdah, des Hauts-Plateaux de Constantine et d'Oranie étant argilo-calcaires, ces terres étant sous un climat plus ou moins identique, les conclusions de nos études peuvent servir utilement pour l'agriculture de ces régions. Nous espérons que nos études sur le régime de l'azote nitrique, sur les eaux de drainage et sur la nitrification des engrais contribueront à une meilleure compréhension du problème de l'azote dans les terres nord-africaines, placées dans des conditions spéciales de température et de pluviométrie.

Nous pouvons constater avec une certaine satisfaction que les recherches théoriques et les expériences sur le terrain, menées avec persévérance, ont permis de formuler les règles de l'emploi des engrais azotés. Chaque étude bien conduite doit aboutir à une réponse précise, soit positive, soit négative, et la nôtre en comporte une : les engrais azotés peuvent avoir leur place dans la culture des céréales, soit pour remédier à un retard considérable dans les semailles, soit pour remonter la productivité d'une terre épuisée par des cultures précédentes, soit dans le cas des pluies trop abondantes d'automne, d'hiver ou du début du printemps.

Fidèle à la règle d'énoncer nos conclusions avec beaucoup de prudence, nous préférons — peut-être au détriment de leur portée pratique immédiate — faire quelques observations limitatives qui ont pour but d'empêcher une généralisation trop hâtive de nos conclusions dans la pratique agricole. En effet, les terres que nous avons eu l'occasion d'étudier en utilisant la méthode de la culture dans les pots se montrent souvent très différentes. Nous en avons trouvé déjà trois qui ne réagissent pas à l'addition de l'azote et qui, par contre, accusent une réaction très nette avec l'acide phosphorique. Ainsi, il se rencontrera un nombre de cas pour lesquels les agriculteurs, même en observant les prescriptions relatives à la pluviométrie de l'année, constateront des résultats en opposition avec les nôtres. Pour éviter les aléas, il est à recommander de ne jamais commencer par des essais sur grande échelle. Il faut débuter toujours par des essais en petit, par de véritables expériences, soigneusement conduites sur de petites surfaces et comportant l'évaluation des rendements parcellaires. Il

est imprudent de juger seulement d'après l'aspect; les chiffres obtenus au battage peuvent souvent s'écarter notablement des impressions visuelles. Pour éviter les irrégularités dues à l'hétérogénéité des terres, il est à recommander d'opérer par la méthode des parcelles répétées, préconisée par M. F. Bœuf (1927), ou, au moins, par l'étude préliminaire du terrain décrite par Amiable (1922). Il n'est pas toujours nécessaire de se conformer rigoureusement à une doctrine; il suffit parfois de l'étudier et d'appliquer sa propre façon d'opérer, qui tienne le compte de la théorie et des difficultés de sa réalisation dans la pratique. On peut faire des parcelles peu nombreuses, mais suffisamment longues pour aboutir à une solution heureuse du problème sans trop de complication. Mais il faut toujours vérifier l'action des engrais sur sa propre terre pendant quelques années de suite. Après seulement, on sera renseigné sur l'avantage économique de la pratique de l'application automnale ou printanière des engrais azotés.

Une autre remarque est relative aux variétés cultivées. Leur nombre est considérable et il tend à augmenter continuellement grâce à la sélection, qui a recours à l'introduction des variétés nouvelles ou à leur création par l'hybridation. Dans leur nombre, on peut distinguer les variétés précoces et les tardives. Il est à prévoir que les variétés précoces se montreront le plus souvent plus exigeantes; et, naturellement, l'application des engrais azotés en couverture ne pourra pas se faire plus tard que le 15 février, parce que l'épaison se manifeste souvent au début de mars.

En dehors de la précocité, il faut distinguer encore les variétés exigeantes et les variétés rustiques. Une ébauche d'étude a été réalisée en 1931-32 au Service Botanique et Agronomique de Tunisie et il est à souhaiter que les variétés soient étudiées non seulement à l'égard de leurs capacités intrinsèques (durée des différentes phases végétatives, résistance aux maladies, etc.), mais aussi par rapport à leurs exigences. Il est à prévoir que l'on enregistrera des cas dans lesquels, la même année et sur la même terre, une variété réagit beaucoup plus qu'une autre à une application d'engrais azotés en couverture.

Toutes ces raisons imposent une certaine prudence et le contrôle préliminaire par les expériences conduites sur de petites parcelles.

Annexe

Dosage de l'azote nitrique dans les eaux de drainage par la méthode de Grandval et Lajoux

L'eau recueillie est brassée et filtrée au besoin. On en prélève une quantité variable, de 1 à 100 cc., pour avoir environ 0 mgr. 1 d'azote nitrique. La prise est placée dans une capsule à bec et évaporée au bain-marie. Le résidu sec, après refroidissement, est traité par 1 cc. 5-2 cc. d'acide sulfo-phénique (3 gr. de phénol + 20 cc. d'acide sulfurique concentré) suivant la grandeur de la capsule. On aide la dissolution du résidu sec dans l'acide phénique au moyen d'un agitateur en verre. Après la dissolution complète, on verse dans la capsule près de 30 cc. d'eau, on agite avec le même agitateur et l'on transvase dans une fiole jaugée de 100 cc. On y verse également les eaux de 2 ou 3 lavages. On ajoute alors 7 à 10 cc. d'ammoniaque commerciale jusqu'à la réaction alcaline (odeur); on agite, on s'assure que la couleur jaune (du disulfonomononitrophénate d'ammonium) apparaît, on complètre à 100 cc. après le refroidissement et l'on homogénéise le contenu de la fiole.

On compare la coloration obtenue avec l'échelle des solutions-types de 0 mgr. 3, 0 mgr. 1 et 0 mgr. 03 d'azote nitrique dans 100 cc., par exemple; un colorimètre est indispensable pour le dosage exact. Connaissant ainsi la teneur en azote nitrique de la prise, on rapporte facilement cette quantité à un litre.

Remarque. — L'acide sulfophénique doit être préparé au moins vingt-quatre heures d'avance. La préparation est facile : 3 gr. de phénol sont additionnés, dans une capsule de 20 cc., d'acide sulfurique à 66° B°; on aide à la dissolution des cristaux de phénol avec un agitateur. On n'a qu'à placer le réactif préparé dans un flacon bouché à émeri.

Autre remarque. — Dans le cas de la présence des chlorures dans les eaux de drainage, on recommande de les éliminer préalablement par l'addition d'une quantité convenable de sulfate d'argent.

Nos analyses ont été faites sans cette précaution.

Dosage de l'azote nitrique dans les terres

L'échantillon à analyser doit être choisi dans le champ avec quelques précautions. En effet, si l'on veut étudier l'accroissement de

l'azote nitrique dans la jachère, il faut éviter, en hiver, de choisir des cuvettes où l'eau se ramasse, en été, le voisinage des mauvaises herbes qui forment des touffes. Quelques cas ont été signalés dans nos notes précédentes. Malgré toutes les précautions, on risque de rencontrer des endroits anormaux où une motte de fumier, un cadavre d'animal ont modifié la composition. Il faut avoir un nombre aussi grand que possible d'analyses pour observer une marche générale régulière des résultats.

L'échantillon prélevé est débarrassé des cailloux sur un tamis de 5^{mm}; ce passage homogénéise la masse de terre. On homogénéise encore, et on prélève 250 gr. environ pour les faire traverser le tamis de 1^{mm} (bon pour l'été, mais trop serré pour l'hiver). La terre ainsi homogénéisée et débarrassée de gravier peut servir pour l'analyse.

Nous prenons 30 ou 15 grammes de terre humide présentant le volume approximatif de 10 ou de 5 cc. Cette prise est placée dans une capsule de 10 centimètres de diamètre. On l'humecte et, avec un doigt bien propre, on l'écrase pour disloquer les grumeaux; on ajoute de l'eau, on écrase encore, et l'on décante dans une fiole jaugée de 250 cc.; on répète l'opération comme dans l'analyse physique des terres. Finalement, avec une pissette, on fait rentrer les particules de sable dans la même fiole (on peut remplacer l'écrasement par le doigt par une simple agitation dans la fiole jaugée). On ajoute quelques centimètres cubes d'une solution de sulfate de magnésium pur pour coaguler l'argile; on complète à 250, on brasse. On filtre sur un filtre plissé, en ne récoltant pas les premières portions troubles.

La solution claire sert pour le dosage. Le volume prélevé doit contenir autant que possible 0 mgr. 1 d'azote nitrique. On le place dans une capsule de dimension convenable et l'on évapore au bain-marie.

On continue comme il est dit pour les eaux de drainage.

La méthode est assez précise et facile. La principale difficulté consiste à disposer d'entonnoirs, de capsules, etc., bien débarrassés de traces d'acide nitrique.

La coloration est stable et peut sans inconvénient être conservée même quelques jours (boucher), en attendant un jour bien éclairé pour le dosage colorimétrique.

Les solutions-types peuvent être préparées avec un nitrate pur (de soude ou de potasse); 100 mgr. d'azote nitrique du nitrate de potasse sont dissous dans 100 cc.; cette solution peut être diluée à volonté pour pouvoir prélever 0 mgr. 03 ou 0 mgr. 1 d'azote nitrique.

Calcul. — Supposons que 30 grammes de terre ont une humidité de 14 %. Le poids sec est de 25 gr. 800 et occupe le volume de 25,8 :

2,65 = 9 cc. 73. La solution contient dans 240 cc. 27 tout l'azote nitrique de l'échantillon.

Si l'on a prélevé 20 centimètres cubes pour l'évaporation, ils représentent $\frac{20}{240,27} \times 25.800$ gr. de terre sèche; si le colorimètre indique une quantité de 0 mgr. 08 d'azote nitrique dans les 20 cc. évaporés, la teneur de la terre est :

$$\frac{0 \text{ mgr. } 08}{\frac{20}{240,27} \times 25,800} \times 1.000 = 37 \text{ mgr. } 25$$

par kilo de terre sèche.

Ouvrages consultés

J.V. Amiable (1922) : Contribution à l'étude de l'hétérogénéité du milieu pédologique et les moyens d'y remédier dans les champs d'expériences. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, 1921-22, p. 107.

J.-V. Amiable (1925) : Contribution à la technique des essais comparatifs. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, N° 3, p. 163.

G. André (1921) : *Chimie du Sol*, éd. 1921, Paris, vol. I, p. 240.

F. Bœuf (1921-22) : Application du calcul des probabilités... à l'évaluation des erreurs dans l'expérimentation agricole. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, N° 2, p. 177.

F. Bœuf (1927) : *Eléments de biologie et de génétique appliqués à l'amélioration des plantes cultivées*. Tunis.

J.-S. Burd and J.-C. Martin (1931) : Secular and Seasonal Changes in Soils. *Hilgardia*, vol. 5, N° 15, april.

Dehérain (1892) : *Traité de Chimie Agricole*, Paris, p. 408.

J. Dumont (1909) : *La terre arable*, Paris, p. 234.

G. Ginestous (1901) : *Les pluies en Tunisie*. Tunis.

G. Ginestous (1906) : *Les régions naturelles de la Tunisie*. Tunis.

G. Ginestous (1922) : *Conférences de météorologie*. Tunis.

G. Ginestous (1927) : *Le régime des pluies en Tunisie pendant la période 1901-1925*.

Ach. Grégoire (1928) : *Contribution à l'étude de l'acide phosphorique du sol*. Gand.

Guedroïtz (1929) : *Analyse chimique du sol* (en russe), Léningrad, p. 459-60.

A.-D. Hall (1906) : *Le sol en Agriculture*, traduction par A. Demolon, Paris, p. 321-332.

R. Lucas et M. Huschberger (1930) : Méthode de dosage de l'azote total dans les mélanges urée-nitrate. Cité d'après *Chimie et Industrie*. 1930, février, p. 465.

Miège : *Expérimentation agricole 1929-30 et 1930-31*. Rabat.

A. Piedallu (1931) : *L'explosif et la colonisation*. Alger. (Aussi nombreuses autres communication : *C. R. Ac. Sc.*, *C. R. Ac. Agr.*, Société des Agriculteurs de l'Algérie.)

I. Pouget et Guiraud (1909) : Sur la nitrification des sols en place. *C. R. Ac. Sc.*, 15 mars 1909, p. 725-727.

I. Pouget et Chouchac (1913) : Contribution à l'étude de la nutrition azotée des végétaux. *Ann. Sc. Agr. franç. et étr.*

A. Ronna (1900) : *Rothamsted. Un demi-siècle d'expériences agronomiques de MM. Lawes et Gilbert*. Paris, p. 501.

E.-J. Russell : *Les conditions du sol et la croissance des plantes*, Paris, p. 187.

C. Schreiber (1931) : *Le sol et les engrais*, Gembloux.

H. Soulmagnon (1929) : Recherche sur les chlorures apportés au sol par l'atmosphère. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, t. VI.

John A. Widstoe (1912) : *Dry-farming*. Paris.

K. Woïdich (1929) : *Oesterr. chem. Ztg.*, t. 32, N° 21, p. 183 (cité d'après *Chimie et Industrie*, 1930, juillet, p. 37).

L. Yankovitch (1929 a) : Terres du Service Botanique de Tunisie. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, t. VI.

L. Yankovitch (1929 b) : Emploi des engrais azotés dans l'Afrique du Nord (mêmes références que 1929 a).

L. Yankovitch (1930 a) : Culture blé-jachère et emploi des engrais azotés. *La Tunisie Agricole*, 1930, N° 1.

L. Yankovitch (1930 b) : Recherches sur l'emploi des engrais chimiques azotés dans l'Afrique du Nord. *Le Bulletin des Engrais*, N° 36.

L. Yankovitch (1930 c) : Etude préliminaire sur les assolements en Tunisie. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, t. VII.

L. Yankovitch et M. Matweeff (1930 d) : Influence des facteurs climatériques et des engrais sur la teneur des blés tunisiens en matières azotées et leur valeur boulangère. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, t. VII.

V. NOVIKOFF

AZOTE APPORTÉ PAR LES EAUX DE PLUIE

INTRODUCTION

Les recherches sur l'azote ammonical et nitrique apporté par les eaux météoriques ont été l'objet des préoccupations de nombreux auteurs; qu'on nous permette de rappeler les travaux classiques de Boussingault à Liebraunberg, de Lévy à Montsouris, de Lawes et Gilbert à Rothamsted (1), dernièrement les travaux de Hansen en Danemark (4). Cependant, les conditions naturelles des régions où les études furent faites étant très différentes de celles de la Tunisie, au point de vue de la climatologie comparative, nous avons cru utile de déterminer l'apport d'azote par les pluies en Tunisie. Nous admettons que les fumées et les vapeurs de la ville ont une influence insignifiante, que nous pouvons négliger, à la station du Service Botanique et Agronomique de Tunisie, par suite de son éloignement de Tunis.

Méthode de travail

Pour les déterminations de l'azote nitrique et ammoniacal dans les eaux de pluie, nous avons utilisé les eaux d'un pluviomètre, de 1^{m2} de surface, installé à la Station météorologique du Service. L'eau recueillie dans ce pluviomètre fut soumise aux analyses immédiatement après son prélèvement, sans séjourner au laboratoire.

Dosage de l'azote ammoniacal. — Une fraction (500 cc.) de l'eau est introduite dans un ballon avec 2 grammes de magnésie calcinée; on distille à l'appareil de Schloesing et l'on recueille l'ammoniaque dans l'acide sulfurique au 1/10e. Après avoir ajouté du réactif de Nessler (préparé d'après la formule de Tredwell), on ramène au volume déterminé et on compare avec des liqueurs-types au colorimètre Dubosq.

Dosage de l'azote nitrique. — Une autre fraction (500 cc.) de l'eau

est évaporée à sec, au bain-marie, dans une capsule de porcelaine, et l'on procède au dosage colorimétrique par la méthode de GRANDVAL et LAJOUX (à l'acide sulfophénique).

En nous servant des dites méthodes, nous avons trouvé, pour les pluies, au cours de l'année agricole 1931-1932, les chiffres suivants :

TABLEAU I

I. *Dosage de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique dans l'eau de pluie (Année 1931-1932)*

DATES	PLUIE	AZOTE AMMONIACAL		AZOTE NITRIQUE		AZOTE TOTAL
	Quantité en millimètres	En milligr. par litre	En grammes par hect.	En milligr. par litre	En grammes par hect.	En grammes par hect.
Septembre :						
19	7.50	0.658	49.350	0.260	19.500	68.850
20	0.75	0.468	3.510	0.130	0.975	4.485
24	0.70	0.510	3.570	0.140	0.980	4.550
Total	8.95		56.430		21.455	77.885
Octobre :						
1-2	3.35	0.450	15.075	0.160	5.360	20.435
2	2.00	0.280	5.600	0.030	0.600	6.200
3	37.10	0.255	94.605	0.028	10.388	104.993
4	1.64	non dosé	—	non dosé	—	—
19-20	1.00	0.974	9.740	0.470	4.700	14.440
26-27	7.26	0.982	71.293	0.243	17.641	88.934
Total	52.35		196.313		36.689	235.002
Novembre :						
2	4.20	0.380	15.960	0.114	4.788	20.748
4	3.42	0.104	3.556	0.037	1.265	4.821
5	5.90	0.064	3.776	trace	—	3.776
8	2.10	trace	—	trace	—	—
10	4.16	0.440	20.240	0.089	4.094	24.334
22	5.27	0.280	14.756	0.044	2.318	17.074
23	6.20	0.220	13.640	0.044	2.728	16.368
28	4.20	0.410	17.220	0.091	3.820	21.040
30	5.40	0.480	25.920	0.018	0.972	26.892
30	4.80	0.250	12.000	0.012	0.570	12.570
Total	45.65		127.068		20.555	147.623

DATES	PLUIE	AZOTE AMMONIACAL		AZOTE NITRIQUE		AZOTE TOTAL
	Quantité en millimètres	En milligr. par litre	En grammes par hect.	En milligr. par litre	En grammes par hect.	En grammes par hect.
Décembre :						
3.....	1.60	0.275	4.400	0.085	1.360	5.760
4.....	0.70	0.260	1.820	0.085	0.595	2.415
9.....	58.50	0.120	70.200	0.070	40.950	111.150
10.....	26.49	0.120	31.780	0.050	13.240	45.020
11.....	5.48	0.130	7.124	0.030	1.644	8.768
12.....	30.80	0.130	40.040	0.020	6.160	46.200
13.....	108.40	trace	—	trace	—	—
14.....	17.90	0.010	1.790	trace	—	1.790
19.....	17.45	0.030	5.230	0.016	2 790	8.020
20.....	2.95	0.137	4.041	0.021	0.619	4.660
21.....	0.10	non dosé	—	—	—	—
24.....	1.00	0.240	2.400	0.070	0.700	3.100
25.....	10.50	0.180	18.900	0.050	5.250	24.150
26.....	6.00	0.110	6·600	0.020	1.200	7.800
29.....	0.01	non dosé	—	—	—	—
30.....	0.08	non dosé	—	—	—	—
31.....	5.25	0.242	12.705	0.023	1.207	13.912
Total.....	293.21		207.030		75.715	282.745
Janvier :						
1.....	3.20	0.174	5.568	0.026	0.832	6.400
5.....	6.00	0.273	16.380	0.030	1.800	18.180
14.....	0.25	non dosé	non dosé	—	—	—
Total.....	9.45		21.948		2.632	24.580
Février :						
12.....	0.25	non dosé	non dosé	0.000	—	—
13.....	3.35	0.436	14 606	0.176	5.896	20.502
15.....	0.88	0 564	4.963	0.068	0 590	5.553
16.....	0.40	0 460	1.840	0.060	0.240	2.080
17.....	13.84	0.240	33.216	0.027	3.736	36.952
18.....	0.38	0 310	1.178	trace	—	1.178
19.....	0.45	0.280	1.180	trace	—	1.180
20.....	0.40	0.300	1.200	trace	—	1.200
21.....	11.75	0.131	15.392	0.048	5.640	21.032
22.....	1.00	0.180	1.800	0.035	0.350	2.150
23.....	2.10	0.420	8.820	0.035	0.735	9.555
24.....	51.05	0.080	41.080	trace	—	41 080
25.....	11.67	trace	—	trace	—	—
26.....	4.55	0.172	7.585	trace	—	7.585
27.....	1.00	0.140	1.400	trace	—	1.400
30.....	0.65	0.332	2.158	trace	—	2.158
Total.....	103.72		136.418		17.187	153.605

DATES	PLUIE	AZOTE AMMONIACAL		AZOTE NITRIQUE		AZOTE TOTAL
	Quantité en millimètres	En milligr. par litre	En grammes par hect.	En milligr. par litre	En grammes par hect.	En grammes par hect.
Mars :						
3.	0.22	non dosé	—	—	—	—
5.....	4.40	0.600	26.400	0.128	5.632	32.032
6.....	1.00	0.600	6.000	0.048	0.480	6.480
7.....	0 22	non dosé	—	—	—	—
21.....	5.88	0.660	38.808	0.250	14.700	53.508
22.....	4.35	0.438	19.053	0.120	5.220	24.273
23.....	3.30	0.264	8.712	0.056	1.848	10.560
24.....	5.62	0.414	24.952	0.022	1.236	26.188
25	0 85	0.525	4.462	0.010	0.850	5.312
27.....	13.02	0.358	48.959	trace	—	48.959
28.....	1.28	0.390	4.992	0.090	1.152	6.144
Total.....	40.14		182.338		31.118	213.456
Avril :						
14.....	12.52	0.410	51.332	0.164	20.532	71.864
20.....	0.34	0.580	1.972	0.148	0.503	2.475
23.....	0.44	0.530	2.332	0.120	0.528	2.860
24.....	2 36	0.482	11.375	0.095	2.242	13.617
Total.....	15.66		67.011		23.805	90.816
Mai :						
25.....	7.95	0.620	49.350	0.210	16.695	66.045
28.....	0.60	0.600	3.600	0.186	1.116	4.716
Total.....	8.55		52.950		17.811	70.761
Juin :						
12.....	0.40	0.712	2.848	1.132	0.283	3.980
14.....	3.00	0.603	18.090	7.980	0.266	26.070
15.....	0.67	0.542	3.631	1.273	0.190	4.904
16	0.95	0.480	4.560	0.997	0.105	5.557
23.....	0.03	non dosé	—	—	—	—
Total.....	5.05		29.129		11.382	40.511
Juillet : Néant...	»	»	»	»	»	»
Août :						
3.....	0.12	non dosé	non dosé	non dosé	non dosé	non dosé
TOTAL...	0.12					

Pendant cette année agricole, nous avons analysé 65 échantillons de pluie.

La quantité totale d'azote, pour l'année agricole 1931-1932, est de 1 kg. 336 par hectare, dont 1 kg. 076 sous forme d'ammoniaque (déplaçable par la magnésie calcinée) et 260 grammes sous forme de nitrates.

Concentration de l'azote dans les eaux de pluie. — Si nous passons en revue les résultats de ce travail, nous constatons d'abord que la moyenne de la concentration mensuelle des eaux est 0mm 323 pour l'azote ammoniacal et 0mm 090 pour l'azote nitrique par litre, mais la teneur varie d'abord suivant la saison; la concentration est grande pendant les premières pluies de l'automne, elle diminue sensiblement en décembre, janvier et février, et se relève nettement au mois de mars. Dans le tableau II, nous avons réservé une colonne dans laquelle on peut voir ces variations saisonnières de la teneur moyenne mensuelle de l'azote ammonical et nitrique dans l'eau de pluie.

Tableau II

Azote ammoniacal et nitrique dans l'eau de pluie. Année 1931-32
(*Récapitulation mensuelle*)

MOIS	QUANTITE DE PLUIE en millimètres	AZOTE AMMONIACAL		AZOTE NITRIQUE		AZOTE TOTAL en grammes par hect.
		En grammes par hect.	En milligr. par litre Moyenne	En grammes par hect.	En milligr. par litre Moyenne	
Septembre	8.95	56.430	0.630	21.455	0.238	77.885
Octobre	52.35	196.313	0.375	38.689	0.074	235.002
Novembre	45.65	127.068	0.278	20.555	0.045	147.623
Décembre	293 21	207.030	0.070	75.715	0.026	282.745
Janvier	9.45	21.948	0.232	2.632	0.027	24.580
Février	103.72	136.418	0.132	17.187	0.046	153 605
Mars	40.14	182.338	0.453	31 118	0.077	213.456
Avril	15.66	67.011	0.428	23 805	0.152	90.816
Mai	8.35	52 950	0 701	17.811	0.208	70.761
Juin	5.05	29.129	0.576	11.382	0.225	40.511
Juillet	néant	—	—	—	—	—
Août	0.12	—	—	—	—	—
Total de l'année		1076.63		260.349		1336.984

La concentration est également fonction de l'importance de la pluie; plus grande est la quantité d'eau tombée en une seule fois, moindre

est la concentration de l'eau en azote, ce qu'il est facile de voir dans le tableau I, surtout au courant de décembre.

L'intervalle entre deux pluies joue un rôle important; plus il est court, moindre est la concentration en azote. Du 2 novembre jusqu'au 6 novembre (tableau I), nous avons eu des pluies successives et la concentration au début était 0^{mm} 494 de l'azote total; elle diminue par la suite et, le 5 novembre, on ne trouve que des traces d'azote ammoniacal et nitrique; la pluie suivante ne tombe que le 10 novembre et la concentration devient 0^{mm} 529 de l'azote total par litre.

Remarques sur la quantité totale de l'azote apporté par les eaux de pluie. — Les plus grosses quantités d'azote se trouvent en décembre, mais ces quantités ne sont pas proportionnelles à la quantité de l'eau tombée; pour $293^{mm}28$ (tableau II), il y avait seulement 289 gr. 745 d'azote total, alors qu'au mois de mars nous avons trouvé 213 gr. 456 d'azote pour $40^{mm}19$ de pluie. Il est intéressant de noter que les pluies de printemps sont riches en azote (tableau II), et la pluie, indépendamment de l'influence physiologique bienfaisante sur la plante, devient un engrais direct, à une saison des plus opportunes; malheureusement, dans nos régions, l'abondance des pluies au printemps est un fait assez rare. Les grandes pluies d'hiver n'apportent que peu d'azote, souvent les réactifs donnent de faibles traces d'azote ammoniacal et nitrique; c'est le cas du 13 décembre, correspondant à la pluie torrentielle de $108^{mm}40$ du 12. Dans les années où les chutes d'eau sont moins importantes à la fois, avec des intervalles plus ou moins longs entre les pluies, l'apport d'azote doit être plus grand.

Les chiffres des tableaux donnent, comme nous avons vu, une moyenne d'apport annuel de 1 kg. 336 d'azote total seulement, tandis qu'ailleurs les auteurs ont trouvé un apport par les eaux météoriques beaucoup plus grand (de l'ordre de 4 à 14 kilos). Il nous semble que l'écart énorme avec nos chiffres est dû à la différence profonde de la climatologie tunisienne par rapport à celle des autres régions. Les pluies en Tunisie ne sont pas uniformes: une période de sécheresse s'étend d'avril jusqu'à octobre, et cette absence de précipitations, pendant la saison la plus favorable au point de vue de la richesse de l'atmosphère en azote (1), diminue notablement la quantité annuelle d'azote total. Par contre, les pluies torrentielles d'hiver n'apportent que peu d'azote (3).

L'absence de neige, qui est souvent plus riche que la pluie en azote ammoniacal (1), influe également sur la quantité totale d'azote.

Enfin, il faut mentionner qu'il peut y avoir une différence avec la plupart des auteurs, due à la méthode d'analyse; nous nous sommes

servi de la méthode colorimétrique, appliquée au microdosage, alors qu'anciennement les auteurs ont employé (2) des méthodes qui convenaient pour les analyses des eaux ou des substances ayant une concentration plus grande en azote ammoniacal et nitrique que les eaux de pluie.

A part l'apport de l'azote par les pluies, il faut mentionner l'apport d'azote par les rosées (1); les condensations de vapeur d'eau doivent entraîner avec elles de l'azote en quantité notable; mais, pour des raisons d'ordre technique (trop petite quantité d'eau pour l'analyse), nous n'insistons pas sur ce phénomène.

Cette étude, conduite pendant une année agricole seulement, ne nous donne pas le droit d'affirmer que nous avons obtenu exactement l'apport moyen annuel des azote nitrique et ammoniacal, pour un point de la Tunisie. Elle a permis cependant de faire quelques observations intéressantes et elle montre que l'apport de l'azote combiné, par les eaux de pluie, dans nos régions, est beaucoup moins important qu'on ne l'estime habituellement.

⁂

Bibliographie

1. André. *Chimie du sol*. Edit. 1921, page 100-104.
2. Berthelot. *Chimie végétale et agricole*. Edit. 1909, t. I, pp. 45-48.
3. *Rapport préliminaire du chimiste du dominion* (Canada), 1921, page 14.
4. Hansen. Recherches sur l'eau de pluie, *Annales agronomiques*, 1932, N° 4, p. 570.

L. YANKOVITCH ET V. NOVIKOFF

ÉTUDE SUR LA CROISSANCE DU BLÉ

AU SERVICE BOTANIQUE ET AGRONOMIQUE DE TUNISIE

Nous avons été obligés, dans un de nos travaux précédents (L. Y., 1929), faute de documents nord-africains, de déterminer le manque relatif d'azote dans le sol en nous basant sur les besoins du blé en azote établis d'après les études de Garola et Lavallée. La comparaison entre des données obtenues dans des conditions de climat aussi différentes est risquée; aussi, nous sommes-nous proposé par la présente étude de combler cette lacune.

Garola a opéré avec le blé hybride Rimpau cultivé dans des pots contenant 28 kilos de terre; nous avons préféré étudier l'accroissement du blé dans les conditions naturelles, en culture non irriguée et sans engrais; nous avons été obligés de négliger les besoins des racines, et nous ne comparerons, dans la suite, que les besoins des parties aériennes du blé, en Tunisie et en France.

Nous avons choisi, dans un champ, un endroit homogène, à végétation régulière et assez exempt de mauvaises herbes. A cette place, nous délimitions un mètre carré; exactement mesuré. Toutes les plantes étaient arrachées à la main, avec les racines. Transportées au laboratoire, elles subissaient immédiatement la préparation suivante : élimination des racines et des particules terreuses, détermination du poids total vert; pesée immédiate (pour être dans les mêmes conditions d'humidité) des lots pour les analyses destinées à déterminer : humidité, azote, acide phosphorique, potasse et chaux; les calculs permettaient ensuite de rapporter les teneurs obtenues à la matière sèche et à l'hectare.

Bien appliquée, cette méthode donne des résultats aussi exacts que ceux de Garola, avec cet avantage que la plante étudiée végète dans les conditions normales de culture; par contre, elle présente l'inconvénient relatif au choix d'un emplacement où la densité de plantes au mètre carré soit identique.

Remarquons, en passant, encore quelques modifications apportées : nous n'avons pas jugé nécessaire de doser les éléments dans le grain; nous avons toujours opéré sur la plante entière; cette manière de

faire nous a économisé beaucoup de travail et, en revanche, nous a permis d'étudier un nombre de variétés plus grand, d'augmenter des prises d'échantillons et de faire les dosages en double, et certains même en triple, pour obtenir des résultats plus sûrs.

I. Comparaison entre la croissance du blé en Tunisie et sa croissance en France

Pour rendre la comparaison possible, nous avons ramené les résultats d'analyses à une récolte fixe de 8.000 kilos de matière sèche totale à l'hectare correspondant à peu près exactement à 25 quintaux de grain. Ce chiffre présente cet avantage que nos récoltes après la jachère sont de cet ordre (sur les bonnes parcelles, bien propres); en ramenant à 8.000 kilos de matière sèche totale une récolte qui ne s'en écarte pas sensiblement, nous ne risquons pas de déformer l'allure générale des phénomènes : en effet, nous opérons toujours sur une récolte de belle venue, bien nourrie et bien parvenue à la maturité.

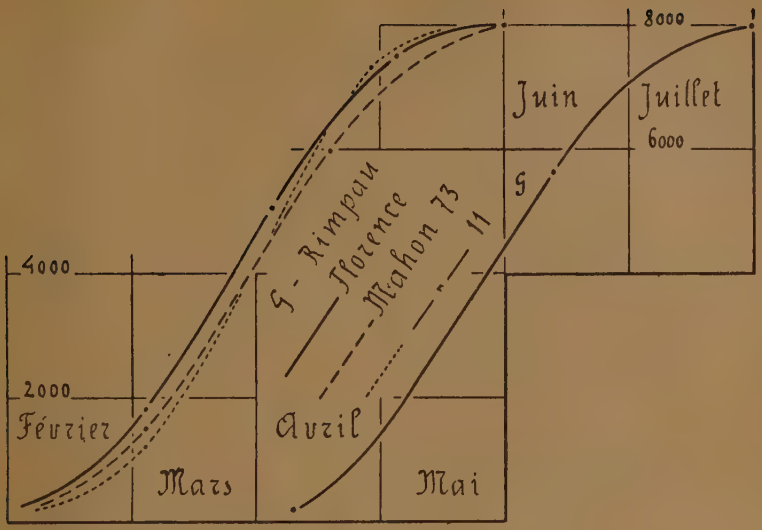
a) Etude sur la matière sèche :

La matière sèche totale (grain+paille, sans racines ni chaumes) trouvée par Garola et Lavallée, et ramenée à 8.000 kilos à l'hectare, est indiquée au tableau I.

La comparaison rigoureuse n'est possible qu'avec la présentation graphique des résultats. La graphique I indique la marche de l'accroissement de la matière sèche.

La comparaison de deux courbes, celle de Garola et celle du Florence par exemple, montre nettement que la croissance du blé à Tunis et en Eure-et-Loir, au printemps et au début de l'été, présente des allures à peu près identiques. La seule différence consiste en ce que la période du jour des semailles au jour du départ de la croissance rapide de l'appareil aérien est chez nous beaucoup plus courte; elle est de 75 jours environ, tandis que la même période hivernale en France septentrionale est de 160 jours; il en résulte que la différence principale ne porte pas sur le caractère de la croissance, mais sur la date; l'écart des deux courbes est rigoureusement de deux mois.

A l'examen plus attentif, nous pouvons remarquer que les deux courbes en comparaison ne sont pas rigoureusement parallèles; celle du Florence accuse un accroissement plus rapide à la fin de mars et durant le mois d'avril que le blé Rimpau au moment correspondant de son développement. Avant de comparer les trois courbes des blés tunisiens entre elles, il est nécessaire de préciser les conditions de croissance. Le Florence 135 a été semé le 4 décembre 1929 après une



GRAPHIQUE 1. — Accroissement de la matière sèche.

GRAPHIQUE 2. — Assimilation comparée des éléments fertilisants par un blé de France et divers blés de Tunisie.

jachère; le champ resta très propre; le rendement obtenu a été de 23 qx. 1/2. Le Mahon 73 a été semé le 20 novembre 1929 dans un champ assez propre, après la vesce. Enfin, le Mahon II a été semé le 21 novembre 1930, après la vesce, dans un endroit exempt de mauvaises herbes, dans une terre de fertilité supérieure à celui étudié l'année précédente. Les rendements enregistrés ont été de 21 qx. 5. Les quantités de matière sèche totale ont été respectivement de 7.310 kilos et 7.200 kilos, et nous avons dû multiplier tous nos résultats par 1,095 pour le premier et par 1,111 pour le second pour obtenir nos courbes établies pour une quantité de 8.000 kilos de matière sèche par hectare. Quant aux conditions météorologiques, l'année 1929-30 eut des pluies remarquablement réparties, abondantes en février, mars et avril; l'année 1930-31 eut janvier et février pluvieux, et le printemps un peu sec.

Ainsi, la courbe du Mahon 73 est à peu près parallèle à celle du Florence 135; tandis que le Mahon II eut son développement retardé par les pluies d'hiver, trop abondantes; par contre, il se rattrapa au printemps, profitant de ce que la terre était d'une fertilité meilleure.

On peut, de ce qui précède, tirer les conclusions suivantes : en général, *l'accroissement de la matière sèche a une allure comparable en France et en Tunisie; l'intensité d'accroissement est légèrement supérieure en Tunisie; les courbes sont décalées entre elles, dans le temps, de 60 jours.*

b) Etude sur l'absorption de l'azote :

Le tableau I réunit tous les chiffres dont nous nous proposons de faire usage. Ils sont obtenus, comme il a été dit pour la matière sèche, par le calcul et correspondent à un même rendement en matière sèche de 8.000 kilos à l'hectare. Voir ce tableau à la page suivante.)

L'absorption de l'azote est présentée graphiquement. On voit, sur le graphique 2, que les différences entre les quatre courbes sont accusées [1].

Nous allons nous arrêter sur la durée, l'intensité et l'époque de l'absorption la plus intense de l'azote.

---

(1) Nous avons eu recours aux courbes régulières, qui ont l'avantage de mieux présenter les phénomènes que les lignes brisées, allant d'un point obtenu par l'analyse à l'autre; dans la nature, il y a sans doute des accroissements assez brusques, mais, quand on considère le phénomène dans l'ensemble, on est forcé de les négliger; et l'on est contraint de reconnaître qu'il est impossible que l'absorption, lente jusqu'au 9 avril, change brusquement et devienne régulière et rectiligne jusqu'au 12 juin pour changer encore assez brusquement et se ralentir après ce jour.

TABLEAU I

Accroissement, ramené à une récolte totale de 8.000 kilos par hectare, de la matière sèche et des éléments fertilisants par un blé de France et trois blés de Tunisie.

			MATIÈRE sèche	AZOTE	P^2O^5	K^2O	CaO
GARCLA	Hybride Rimpau	9 avril	156	3.14	2.24	7.82	1.96
		12 juin	5.610	74.16	42.69	129.63	40.39
		1 août	8.000	97.30	59.42	84.65	50.23
YANKOVITCH 1929-30	Florence 435	9 janvier	68	3.97	1.31	3.81	0.90
		3 mars	1.792	51.07	9.50	80.09	24.37
		4 avril,	5.040	69.56	25.20	144.16	34.28
		4 mai	7.561	88.46	26.46	—	—
		Maturité	8.000	91.20	26.40	110.50	31.20
	Mahon 73	3 mars	1.516	23.20	8 19	57.02	13.04
		18 avril	5 979	56.20	22.72	135.23	28.10
		Maturité	8.000	68.04	28.82	95 25	35.22
NOVIKOFF 1930 31	Mahon 11	22 décembre	76	3.14	1.16	4.07	—
		14 janvier	197	7.78	2.17	9.38	—
		4 mars	1.222	25.66	10.02	47.66	13.44
		12 avril	5.551	43.85	34.42	112.68	34.98
		28 avril,	7.306	—	—	—	—
		25 mai	8.000	56.23	33.44	99 99	39.20

Pour déterminer la durée, nous allons rejeter les dix derniers jours pendant lesquels la plante n'absorbe plus rien du sol. Nous obtenons :

Variété	Durée	Absorbé en kilogr. par hectare	Absorp. journal. par hectare
Rimpau	104 jours	97.3 — 3.1 = 94.2	0.906
Florence	130 jours	91.2 — 4.0 = 87.2	0.671
Mahon 73	130 jours	68 0 — 2(?) = 66.0	0.507
Mahon 11	120 jours	56.2 — 7.8 = 48.4	0.403

Ces chiffres et les courbes montrent qu'à L'Ariana *le besoin en azote est moins grand qu'en France*. D'autre part, *les variétés*, choisies intentionnellement *différentes*, *ont des besoins inégaux* pour former la même quantité de matière sèche. Le Florence 135 se montre adapté à des terres riches en azote assimilable, tandis que les Mahon peuvent se contenter des terres qui en sont assez pauvres; le Florence aurait sa place après la jachère, tandis que le Mahon peut être employé avantageusement après une culture.

Nos analyses nous montrent un ralentissement de l'absorption d'azote au mois de mars; il est dû aux pluies de février. D'une façon générale, chaque fois que les pluies d'hiver ont été d'une certaine importance, le blé éprouve une certaine difficulté à se procurer de l'azote, et l'emploi des engrais azotés en couverture est, dans ces conditions, avantageux (L. Y., 1933).

c) Etude sur l'absorption de l'acide phosphorique :

Les données du tableau I, présentées graphiquement (voir graphique 2), permettent de constater une différence énorme dans le besoin total de la récolte en acide phosphorique entre les résultats de Garola et les nôtres. Remarquons, pour commencer, que nous ne sommes pas les seuls à constater cet écart; les autres investigateurs indiquent également une teneur du blé en acide phosphorique beaucoup plus basse que Garola. Par exemple, Wéry donne des chiffres qui correspondent, pour une récolte de 25 quintaux de grain, à 32 kg. 5 d'acide phosphorique seulement. J. Pierre a trouvé des chiffres qui, rapportés à 8.000 kilos de matière sèche totale, ne font que 22 kilos d'acide phosphorique. On pourrait multiplier les exemples; mais il est inutile de les chercher loin, parce que les trois courbes obtenues par nous indiquent aussi que cette quantité peut varier dans d'assez larges limites. Nous pouvons affirmer qu'une récolte de 25 quintaux de grain se contente d'une quantité voisine de 30 kilos d'acide phosphorique par hectare (abstraction faite des racines).

Quant à la marche d'absorption de l'acide phosphorique, GAROLA obtient une assimilation régulière, tout à fait comparable à celle de l'azote. Nos résultats, obtenus dans les conditions de grande culture, sont différents. Ils montrent une assimilation de l'acide phosphorique intense au mois de mars et jusqu'au 15 avril et un ralentissement très considérable plus tard. Nous en reparlerons dans la deuxième partie de cette note, à propos de l'étude des variétés. Retenons seulement que le Florence *après la jachère a absorbé la plus grande quantité d'acide phosphorique au mois de mars.*

d) ETUDE SUR L'ABSORPTION DE LA POTASSE :

Si les courbes des éléments précédemment étudiés avaient une marche ascendante, ou stationnaire, à certaines périodes, il n'y a aucun doute que la teneur d'une récolte en potasse n'augmente plus pendant les derniers 30-40 jours.

La période de l'assimilation des hydrates de carbone continue, cependant, parce que la matière sèche totale augmente. Seulement, la potasse n'est plus nécessaire à la plante, qui commence à s'en débarrasser en la perdant avec les feuilles sèches. Au moment de la récolte, on constate une perte de :

Rimpau.....	29 %
Florence.....	23 %
Mahon 73.....	30 %
Mahon II.....	24 % (d'après le graphique)

L'absorption de la potasse est rapide et régulière. Elle dure sensiblement 2 mois dans l'expérience de GAROLA et près de 3 mois à L'Ariana. Ainsi, pour la potasse comme pour l'azote, les conditions de L'Ariana sont plus favorables que celles de GAROLA. La durée est plus grande, et *le sol arrive plus facilement à nourrir la récolte en potasse qu'en France.*

Quant à la *chaux*, son rôle dans la plante est tout autre que celui des éléments précédents. A part son rôle dans les phénomènes diastasiques qui en demandent des traces, la chaux est destinée à saturer certains acides organiques de la plante susceptibles de provoquer des troubles physiologiques et à déplacer la potasse de ses combinaisons pour la rendre au travail de l'assimilation chlorophyllienne. Nous ne présentons pas la marche d'absorption de la chaux graphiquement, nous contentant de présenter les chiffres seuls.

Cependant, une remarque peut être formulée : les blés exigeants en azote paraissent accumuler plus de chaux que les blés rustiques.

Enfin, il faudrait dire quelques mots sur la *magnésie*, cet aliment dont l'importance physiologique est depuis longtemps démontrée et qui entre dans la constitution de la chlorophylle, qui participe à l'assimilation par les végétaux de l'acide phosphorique et qui est en équilibre avec la chaux. Nous devons avouer que les chiffres que nous avons obtenus ne sont pas très réguliers; nous pouvons supposer que les autres chercheurs sont dans le même cas, parce que cet élément est presque régulièrement omis dans leurs notes. Nous allons suivre leur exemple, en attendant qu'une méthode de dosage plus exacte soit trouvée et donne des chiffres plus corrects et qui se prêtent à l'interprétation.

La conclusion générale de cette étude comparée de l'accroissement des blés en France et à Tunis peut être formulée, dans ses grandes lignes, de la manière suivante :

L'accroissement de la matière sèche totale a la même allure générale; la seule différence importante consiste dans la durée de repos hivernal, qui est longue en France et courte à Tunis.

L'alimentation de la récolte en azote est plus progressive et par conséquent plus facile à Tunis, surtout après la jachère, quoique l'on puisse remarquer souvent une dépression au mois de mars. Une variété rustique (Mahon) peut se contenter d'une quantité plus faible de cet aliment sans que la récolte baisse.

L'alimentation en acide phosphorique, régulière dans l'expérience de Garola, se fait principalement au mois de mars à Tunis.

Enfin, l'absorption de la potasse a lieu très régulièrement et paraît être plus facile en Tunisie qu'en France, à cause des conditions plus favorables pour la végétation au printemps (février).

Ajoutons encore, — et ceci est important à connaître, — que l'abondance de l'azote nitrique dans nos jachères n'est pas capable de déterminer l'accumulation de l'azote dans la récolte dès l'automne, à moins que l'on opère avec une variété très tardive, que l'on sème très tôt, fin octobre ou début de novembre, par exemple.

II. **Comparaison des variétés entre elles**

Nous étant proposé pour but d'étudier l'accroissement des blés, nous avons voulu, non seulement établir la marche générale de ce phénomène en comparaison avec un blé de France, mais encore comparer entre elles quelques variétés d'aptitudes agricoles différentes.

En 1930-31, nous avons choisi nos variétés dans les champs de grande culture; c'étaient :

Florence 135 semé le 4 décembre après la jachère, variété précoce; c'est un blé productif, dans les conditions de l'assolement tunisien, jachère-blé.

Mahon 73, semé le 20 novembre après la vesce; c'est une variété d'origine locale, tardive. Il est rustique et est d'une productivité assez régulière. Il verse sur les terres trop fertiles.

Richelle 110 c, semée le 19 novembre après la vesce; cette variété a des aptitudes intermédiaires entre les deux blés précédents.

Nous avons ajouté encore une avoine, mais l'endroit choisi dans le champ s'est montré assez envahi par les mauvaises herbes; les résultats obtenus ne nous ont pas donné une satisfaction entière, quoiqu'ils démontrent qu'elle est d'aptitudes très semblables au Mahon.

Dans la première partie de cette note, nous avons présenté les chiffres de l'assimilation des différents éléments, avec une légère correction qui consistait à ramener la matière sèche totale à 8.000 kilos à l'hectare.

Dans cette deuxième partie, nous préférons ne rien changer dans les chiffres obtenus. Toutes les valeurs indiquées sont réelles; elles montrent exactement la marche de l'assimilation par des variétés d'aptitudes diverses et placées dans les conditions différentes d'assolement et de travail du sol. Aux chiffres obtenus, nous joignons des graphiques qui représentent la marche de l'accroissement et celle de l'absorption des éléments.

Composition centésimale du blé hybride Rimpau (Etude de Garola)

		Fin de tallage 9 avril	Commencement de floraison 22 juin	Maturité 3 août
		—	—	—
Parties aériennes.	Azote	2.11	1.34	1.31
	$P^2 O^5$	1.42	0.79	0.75
	$K^2 O$	4.80	2.40	1.03
	CaO	1.40	0.72	0.60
Racines	Azote	1.92	1.25	1.25
	$P^2 O^5$	1.20	0.84	0.73
	$K^2 O$	2.60	1.22	1.10
	CaO	1.19	0.72	0.42
Matière sèche des racines % de matière sèche des parties aériennes		57	20	17

Le tableau 2 contient les résultats obtenus avec ces trois variétés

de blé; le tableau ci-dessus donne la composition centésimale du blé hybride Rimpau, de Garola.

En comparant la composition centésimale du Florence à celle du Rimpau, on constate que le blé de Garola est mieux pourvu d'azote et d'acide phosphorique; seule la potasse a été fournie par notre jachère en quantité plus abondante.

A part l'acide phosphorique (dont nous avons eu l'occasion de parler), on voit qu'il n'y a pas de différence très marquée dans l'absorption des éléments minéraux par ces deux blés. Nous pouvons donc considérer nos chiffres relatifs au Florence comme correspondant à un blé de belle venue et d'un bon rendement dans les conditions du climat et de sol de L'Ariana.

La composition des blés après vesce montre des différences sensibles. La Richelle garde régulièrement une teneur en azote et en potasse inférieure; on peut le dire de l'acide phosphorique également, malgré la teneur élevée du 3 mars. Le Mahon présente les teneurs les plus basses. Mais il est à remarquer qu'il se rattrape à la maturité et acquiert une composition minérale très comparable au Florence.

Ces particularités étudiées nous permettent d'aborder l'examen de l'assimilation par hectare. Nous sommes obligés de nous servir des chiffres de la Richelle avec une certaine réserve : la diminution de l'azote et de l'acide phosphorique à la maturité n'est pas normale et doit être, probablement, attribuée à l'hétérogénéité du champ; on devrait trouver près de 38 kilos d'azote et près de 15,5-16 kilos d'acide phosphorique.

Comme le Florence nous sert de standard, nous constatons, le 3 mars, que le champ après vesce a pu fournir au Mahon et à la Richelle à peu près la même quantité d'azote et d'acide phosphorique. Mais le Mahon, plus sobre, se contentant de concentrations faibles de ces éléments dans ses tissus, est parvenu à former une fois et demie plus de matière sèche et à assimiler la potasse en même proportion. Il n'y a pas de doute qu'il développe des racines beaucoup plus puissantes. A partir du 3 mars, il est fortement enraciné et il a un appareil aérien puissant; ceci lui permet de mieux explorer le sol et de donner un rendement presque comparable au Florence, tandis que la Richelle décline, souffre et donne un rendement en matière sèche totale presque deux fois inférieur; le rendement en grain est encore plus mauvais; on a enregistré, au battage de la récolte des champs entiers, les rendements :

Mahon.....	21 qx. 5
Richelle.....	8 qx. 7

Ainsi, cette étude permet d'entrevoir que la connaissance exacte des aptitudes de chaque variété est indispensable. En effet, la même

TABLE

Etude de l'accroissement des blés en Tunisie (Servi

			COMPOSITION CENTÉSIMALE					
			Aux semailles	9 janvier	3 mars	Epiaison	4 mai	Matur
						(4 avril)		
Après jachère	Florence 435	Matière sèche (% de poids frais).		14.60	19.4	24.05	44.4	89.3
		Azote.....	1.5	5.80	2.85	1.38	1.17	1.1
		$P^2 0^5$	1.0	1.92	0.53	0.50	0.35	0.3
		$K^2 0$.....	0.5	5.57	4.47	2 86		1.3
		CaO.....		1.31	1.36	0.68		0.6
						(18 avril)		
Après vesce	Mahon 73	Matière sèche (% de poids frais).			23.2	32.1		86.0
		Azote.....	1.5		1.53	0.94		0.8
		$P^2 0^5$	1.0		0.54	0.38		0.3
		$K^2 0$.....	0.5		3.76	2.26		1.1
		CaO.			0.86	0.47		0.4
						(14 avril)		
	Richelle 110 c	Matière sèche (% de poids frais).		15.7	21.1	31.0		88.7
		Azote.....	1.5	4.22	2.41	1.04		0.7
		$P^2 0^5$	1.0	1.68	0.98	0.44		0.3
		$K^2 0$.....	0.5	5.50	4.02	2.21		1.1
		CaO.....		0.91	1.42	0.56		0.6

uque et Agronomique de Tunisie) 1930-1931

		EN KILOS PAR HECTARE				
	Aux semailles	9 janvier	3 mars	Epiaison	4 mai	Maturité
Florence 135						
Matière sèche.....		69.5	1.820	5.120	7.680	8.126
Matière sèche (% du maximum).		0.8	22.4	63.0	94.5	100
Azote.....	1.5	4.031	51.870	70.656	89.856	92.636
$P^2 0^5$	1.0	1.334	9.646	25.600	26.880	26.816
$K^2 0$.....	0.5	3.871	84.354	146.432	»	112.239
CaO.....		0.910	24.752	36 816		52.006
Mahon 73						
Matière sèche.....			1.385	5.460		7.310
Matière sèche (% du maximum).			19	74.7		100
Azote	1.5		21.190	51.324		62 135
$P^2 0^5$	1.0		7.479	20.748		26.316
$K^2 0$.....	0.5		52.076	123.396		89.989
CaO			11.911	25.662		32.164
Richelle 110 c						
Matière sèche.....		141	880	3.410		4.210
Matière sèche (% du maximum).		3.3	20.9	81.0		100
Azote	1.5	5 950	21.208	35.464		31.454
$P^2 0^5$	1.0	2.369	8.624	15.004		12.630
$K^2 0$.....	0.5	7.755	35.376	75.361		47.573
CaO.....		1.283	12.496	19.096		26.994

Richelle nous a donné après jachère, en 1928-29, un rendement en grain de 24 quintaux sur une partie de notre champ et de 26 quintaux sur une autre. On peut distinguer au moins deux groupes : les blés exigeants, qui ont besoin pour leur développement normal d'un milieu riche; les blés rustiques, qui sont capables de garder une teneur basse en substances telles que l'azote, l'acide phosphorique et même la potasse, sans qu'ils en éprouvent de difficultés pour former leur appareil radiculaire et aérien.

1931-1932

Nous avons déjà dit que les pluies de décembre 1931 ont été très abondantes (293^{mm}) et, en février, un peu plus de 100^{mm} se sont ajoutés; nous avons vu (fig. 1) quel changement a été apporté dans l'accroissement du Mahon : ralentissement de l'assimilation en hiver assez considérable, mais augmentation de l'activité au printemps, due principalement à la meilleure fertilité du sol.

En 1931-32, nous avons choisi six variétés de blé d'aptitudes différentes et nous les avons semées sur deux champs différents : après jachère, après vesce.

Pour fixer les idées, nous donnons ci-dessous les résultats d'analyses de ces terres (ou, plutôt, des parcelles voisines de ces terres).

COMPOSITION PHYSIQUE ET CHIMIQUE DES PARCELLES SUR LESQUELLES A ÉTÉ RÉALISÉE L'EXPÉRIENCE DE 1931-32

	Parcelle après jachère		Parcelle après vesce	
	0-30	30-60	0-30	30-60
Gravier	80	42	76	21
‰ de terre fine :				
Sable grossier siliceux	267	197	218	180
Sable grossier calcaire	105	87	120	100
Sable fin siliceux	130	98	160	125
Sable fin calcaire	188	284	255	303
Argile et organiques	289+21	334	231+17	279+13
Argile dont l'humus	7.5	3.7	5	3.6
Azote	1.28		1.24	
P^2O^5	1.8		2.6	
K^2O	4.4		3.8	
MgO	5.3		6.6	
Quantité présumée d'azote nitrique, en k. par hectare	100		70	

La parcelle après la vesce est donc un peu moins argileuse et plus riche en acide phosphorique.

Six variétés ont été semées dans chacun des champs, sans engrais. Les semailles ont été faites à la main, en raies tracées au râteau; chaque variété avait six lignes distantes de 25 centimètres, dont les quatre du milieu devaient servir pour l'étude et les deux externes ne servaient que de bordure. La longueur des lignes était de $17^{m}5$ pour, en cas d'une irrégularité dans la levée ou autre, pouvoir trouver assez de surface homogène pour l'étude.

Les semailles ont été faites : après la vesce, le 10 novembre; après la jachère, le 21 novembre.

La levée a été régulière, mais un peu en retard après la vesce, à cause du manque de pluies.

Les variétés choisies ont été :

Rustiques	Mahon 11	tardif
	Baroota 52	moyen
	Allora-Florence 436	précoces
Exigeantes	Irakié 231	précoces
	Pusa-Florence 381 b	précoces
	Richelle-Florence 10101	précoces

L'épiaison a été soigneusement relevée :

	Après la jachère	Après la vesce
Mahon	30 avril	28 avril
Baroota	22 avril	23 avril
Allora-Florence	6 avril	5 avril
Irakié	5 avril	6 avril
Pusa-Florence	4 avril	5 avril
Richelle-Florence	7 avril	7 avril

A des époques indiquées dans le tableau 3 on a étudié l'accroissement de la matière sèche: et, en même temps, on a fait les analyses; les analyses ont été omises pour les prélèvements du 28 avril et du 10 mai, parce qu'à ce moment la composition chimique ne varie sensiblement plus.

Le tableau 3 permet des constatations importantes.

Les trois variétés rustiques ont donné des rendements identiques après la jachère et après la vesce. Elles n'éprouvaient donc pas de grandes difficultés pour se nourrir, et les conditions météorologiques de l'année ont servi de limite pour leur rendement.

TABLEAU 3

Accroissement de la matière sèche du blé en 1931-1932 en kilos par hectare

	22 décembre	14 janvier	4 mars	12 avril	28 avril	10 mai	25 mai	Rendements en grain en quintaux
Après jachère								
Mahon II	56	152	1.105	5.312	7.220	7.490	7.950	23.0
Baroota 52	71.5	170	1.137	4.991	7.390	7.668	7.974	23.5
Allora - Florence 436	49	149	1.138	6.928	8.433	8.482	8.550	30.9
Irakié 231	51.5	95.6	1.020	4.942	5.084	5.137	5.174	18.1
Pusa - Florence 381 b	82.5	190	934	5.512	5.952	6.020	6.111	22.7
Richelle - Florence 10.101	71.9	180	1.225	5.030	6.900	6.876	7.081	22.9
Après vesce								
Mahon	68.6	178	1.100	4.997	6.576	»	7.200	22.9
Baroota	66.2	163	1.039	4.334	7.017	»	7.254	24.2
Allora - Florence	59.8	188	1.132	6.349	7.335	»	7.755	28.2
Irakié	86.4	133	1.059	4.216	5.008	»	4.901	15.3
Pusa - Florence	93.5	112	826	5.007	5.120	»	4.963	18.9
Richelle - Florence	85.5	161	1.003	3.915	5.151	»	»	14.5

Nous allons prendre le Mahon 11 comme témoin, parce que c'est une variété anciennement cultivée et, *a priori*, bien adaptée aux conditions de l'Afrique du Nord.

En comparant les trois variétés rustiques entre elles, on voit que l'accroissement de la matière sèche du Baroota se maintient constamment (nous négligeons le chiffre du 4 avril) un peu supérieur au Mahon; mais le Mahon, un peu plus tardif, se rattrape à la fin de mai pour donner un rendement identique (ou à peine inférieur). L'Allora-Florence se distingue par la puissance de son développement dans la période de mars et du début d'avril. Le 28 avril, il est arrivé presque à la fin de l'assimilation. Cette variété remarquable a donné un rendement nettement supérieur aux deux précédentes.

Ces observations s'appliquent aux deux champs en étude, sauf Baroota, qui, après la vesce, nous a donné des chiffres un peu irréguliers.

La composition centésimale de ces blés, indiquée dans le tableau 4, ne varie pas beaucoup. Cependant, le Baroota a la teneur en éléments fertilisants plus faible que le Mahon; l'Allora-Florence, par contre, dépasse ce dernier.

Avant de commencer l'étude des variétés précoces exigeantes, il faut remarquer que nous avons semé une quantité de graines d'Irakié un peu insuffisante après la jachère; elle correspond à 70 kilos à l'hectare seulement; comme cette variété talle peu, on peut attribuer le rendement assez faible obtenu après la jachère à cette cause, plutôt que mettre le discrédit sur cette variété reconnue bonne et productive.

En suivant, dans le tableau 3, l'accroissement de la matière sèche, on voit qu'il se poursuit assez régulièrement et activement jusqu'au 12 avril; à partir de cette date, l'accroissement devient faible. C'est l'avantage des variétés précoces dans les années sèches et à mois de mai chaud; et c'est leur inconvénient pour les années normales; les blés plus tardifs réussissent à tirer profit des conditions du mois de mai.

Le développement après la vesce est assez comparable à celui après la jachère; seule Richelle-Florence se montre gênée après la vesce à partir du 4 mars et jusqu'à la fin de son évolution. C'est donc la variété la plus exigeante en azote assimilable. En consultant la colonne du rendement en grain, on constate que c'est encore la Richelle-Florence qui réagit le plus à la fertilité du champ.

Si l'on s'adresse au tableau 4 pour y trouver la cause de cette baisse de rendement de la Richelle-Florence, après la vesce, on est surpris de constater que la teneur de celle-ci en acide phosphorique et en potasse est même supérieure à sa teneur en ces éléments après la

TABLEA

Composition chimiq

	Le 22 décembre	Le 14 janvier	Le 4 mars	Le 12 avril	Le 25 mai
Mahon 11 :					
Après jachère					
Azote	4.41	4.03	2.35	0.91	0 76
$P^2 O^5$	1.27	1 01	0 66	0.43	0.35
$K^2 O$	5.40	4.95	4.01	2.17	1.19
Ca O			0.99	0.56	0.42
Après vesce					
Azote	4.12	3 94	2.10	0.79	0.70
$P^2 O^5$	1.52	1.10	0.82	0.62	0.42
$K^2 O$	5.34	4.75	3.90	2.25	1.25
Ca O			1.10	0.63	0.49
Baroota 52 :					
Après jachère					
Azote	4.30	3.92	2.29	0.81	0.75
$P^2 O^5$	1.29	0.97	0.62	0 37	0.30
$K^2 O$	5.41	4.86	3 90	2.24	1.25
Ca O			0.93	0.54	0.56
Après vesce					
Azote	3.94	3.77	2.04	0.80	0.72
$P^2 O^5$	1.60	1 09	0.87	0.56	0·38
$K^2 O$	5.64	5.39	3.61	2.25	1.47
Ca O			1.31	0.59	0.45
Allora-Florence 436 :					
Après jachère					
Azote	4.58	4.05	2.51	0.99	0.81
$P^2 O^5$	1.40	1.00	0.56	0.33	0.37
$K^2 O$	5.73	5.01	4.27	1.92	1.15
Ca O			0.93	0.62	0.52
Après vesce					
Azote	4.29	3.95	2.90	0.89	0.81
$P^2 O^5$	1.44	1.07	0.92	0.52	0.45
$K^2 O$	5.70	5.33	4.25	2.17	1.31
Ca O			1.23	0.68	0.55

4

des blés

	Le 22 décembre	Le 14 janvier	Le 4 mars	Le 12 avril	Le 25 mai
Irakié :	Après jachère				
Azote	4.29	4.16	2.89	0.83	0.87
P_2O_5	1.30	0 96	0.72	0.33	0.29
K_2O	5.20	4.57	3.75	1.93	1.57
Ca O			0.85	0.60	0.64
	Après vesce				
Azote	3.80	3.91	2.62	0.93	0.82
P_2O_5	1.46	1.10	0.97	0.64	0.40
K_2O	5.69	5.15	4.25	2 41	1.56
Ca O			0.98	0.71	0 48
Pusa-Florence 381 b :	Après jachère				
Azote	4.38	4.16	2.80	0.86	0.83
P_2O_5	1.49	1.28	0.60	0.43	0.30
K_2O	5 95	5.45	4.20	1.96	1.53
Ca O			0.84	0.64	0.70
	Après vesce				
Azote	4.20	3.55	2.91	0.85	0.82
P_2O_5	1.40	1.33	0.78	0.52	0.37
K_2O	5 44	5.76	3.80	1.87	1.45
Ca O			0.89	0.69	0.62
Richelle-Florence 10.101 :	Après jachère				
Azote	4.24	4.06	2.44	0.90	0.80
P_2O_5	1.24	1.03	0.75	0.45	0.30
K_2O	5.75	4.76	3.70	2.15	1.30
Ca O			1.02	0.59	0.62
	Après vesce				
Azote	4.25	3 53	2.24	0 84	0.79
P_2O_5	1.79	1.29	0.90	0.64	0.43
K_2O	5.73	5.58	4.15	2.30	1.35
Ca O			1.07	0.62	0.65

jachère; même les teneurs en azote sont comparables entre elles; et, cependant, puisque la Richelle-Florence est cultivée sur la même terre et dans les mêmes conditions que, par exemple, Allora-Florence, qui est aussi un blé précoce, le faible rendement doit être expliqué par des exigences particulières de la Richelle-Florence ou par un trouble physiologique dans l'assimilation.

En admettant que la potasse se trouve dans nos terres en quantité suffisante pour assurer l'alimentation de la récolte; en négligeant la magnésie pour laquelle nous n'avons pas de données d'analyses; nous pouvons essayer d'établir si le rapport Az : $P^2 O^5$ a une influence sur le rendement.

Nous allons consacrer les trois premières lignes du tableau 5 au Mahon, qui s'est montré satisfait de nos conditions d'expérience et n'a montré aucun signe manifeste de déficience.

TABLEAU 5. — *Rapport Az : $P^2 O^5$*

	22 décembre	14 janvier	4 mars	12 avril	25 mai
Mahon 73 1930-31	—	2.83	—	2.47	2.36
— 11 1931-32 après jachère	3.47	4.00	3.56	2.12	2.17
— — — vesce	2.71	3.58	2.56	1.28	1.67
Allora-Florence après jachère	3.27	4.05	4.48	3.00	2.19
— — vesce	2.98	3.70	3 15	1.71	1.80
Irakié après jachère	3.30	4.33	4.01	2.51	3.00
— vesce	2.60	3.55	2.70	1.45	2.07
R. - Florence après jachère	3.42	3.94	3.25	2.00	2.22
— — vesce	2.38	2.74	2.49	1.31	1.84

Le tableau 5 contient des données qui paraissent intéressantes. En examinant le rapport pour l'Allora-Florence après jachère, on voit qu'il augmente jusqu'à 4.48 et diminue ensuite régulièrement, pour devenir 2.19 à la maturité. Ceci correspond au meilleur rendement. Après vesce, le rendement est encore bon (voir au tableau 3), mais le rapport était déjà trop bas le 12 avril; il se relève légèrement le 25 mai.

On peut faire les mêmes constatations pour le Mahon 11. Ainsi, on peut admettre que les variétés rustiques, Mahon et Allora × Florence, peuvent se contenter de rapports voisins de 2,20 vers la maturité.

La Richelle-Florence après jachère présente pendant presque toute sa végétation des valeurs insuffisantes de ce rapport, et il y a des chances qu'il doive être plus élevé que celui des variétés rustiques, parce qu'il l'élève à 2,22 vers la maturité. Après la vesce, elle a mal réussi parce qu'elle a été dans les conditions très défectueuses quant à la valeur de ce rapport physiologique.

L'Irakié, variété remarquable par ses qualités boulangères, et riche en azote, commence sa végétation normalement après jachère. Le 12 avril, son rapport est élevé et se relève à 3, au 25 mai.

On aurait donc des variétés rustiques qui se contentent à la fin de la végétation d'un rapport Az : $P^2 P^5 = 2,2$, et des variétés exigeantes chez lesquelles il devient égal ou même supérieur à 3. D'autre part, ces variétés exigeantes doivent être particulièrement sensibles à l'apport des engrais azotés.

Cette étude serait à reprendre dans des conditions expérimentales plus rigoureuses.

L'étude chimique de la composition des six variétés n'a pas donné des résultats particulièrement démonstratifs: *le blé tend toujours à conserver sa teneur normale*, celle qui lui est nécessaire dans un moment donné de son évolution. Le seul point intéressant, dans le sens de l'étude des particularités des variétés, c'est le rapport de l'azote à l'acide phosphorique; s'il ne nous permet pas encore d'énoncer quelque règle semblable au diagnostic foliaire de LAGATU, il nous donne le droit de formuler au moins cette hypothèse et de chercher dans cette direction.

Pour connaître une variété, il est préférable de se contenter de la méthode qui consiste à la semer à côté d'un témoin et à faire des observations méthodiques sur ses comportement et rendement. On pourrait ajouter l'étude sur l'accroissement de la matière sèche, qui varie dans d'assez larges limites suivant les aptitudes des variétés. Naturellement, pour réaliser cette étude dans les meilleures conditions, il serait mieux de choisir un champ aussi homogène que possible, labouré soigneusement, et d'y semer les variétés en question avec la planche qui permet de réaliser les semailles parfaitement identiques.

III. Remarques sur la marche générale de l'absorption des éléments fertilisants

Le tableau 6 est calculé d'après les données des tableaux 3 et 4; il indique la quantité des éléments fertilisants, assimilée par les variétés à l'étude à des époques déterminées.

TABLEAU

Eléments fertilisants assimilés

	Le 22 décembre	Le 14 janvier	Le 4 mars	Le 12 avril	Le 25 mai
Mahon II :		Après jachère			
Azote	2.470	6.126	25.968	48.339	60.420
P_2O_5	0 711	1.540	7.293	22.842	27.825
K_2O	3.024	7.539	44.310	115.270	94.605
Ca O			10.940	29.747	33.390
		Après vesce			
Azote	2.826	7.013	23.100	39.476	50.400
P_2O_5	1.043	1.958	9.020	30.981	30.240
K_2O	3 663	8.455	42.900	112.432	90.000
Ca O			12.100	31.481	35.286
Baroota 52 :		Après jachère			
Azote	3.075	6.664	26.037	40.427	59.805
P_2O_5	0.922	1.649	7.049	18.467	23.922
K_2O	3.868	8.262	44.343	111.798	99.675
Ca O			10.574	26.951	44.654
		Après vesce			
Azote	2.608	6.145	21.196	34.672	52.229
P_2O_5	1.059	1.777	9 039	24.270	27.565
K_2O	3.734	8.786	37.508	97.515	106.634
Ca O			13.611	25.570	32.643
Allora-Florence 436 :		Après jachère			
Azote	2.244	6.035	28.464	68.587	69.255
P_2O_5	0.686	1.490	6.379	22.862	31 635
K_2O	2.808	7.470	48.593	133.018	98.325
Ca O			10.583	42.954	44.460
		Après vesce			
Azote	2.565	7.426	32.828	56.506	62.815
P_2O_5	0.861	2.012	10.414	33.015	34.898
K_2O	3.409	10 020	48.110	137·773	101.590
Ca O			13.924	43.173	42.650

6

par les blés, en kilos par hectare

	Le 22 décembre	Le 14 janvier	Le 4 mars	Le 12 avril	Le 25 mai
Irakié 231 :		Après jachère			
Azote	2.209	3.977	29.478	41.019	45.014
P_2O_5	0.670	0.918	7.344	16.309	15.005
K_2O	2.678	4.369	38.250	95.381	81.232
Ca O			8.670	29.652	33.114
		Après vesce			
Azote	3.283	5.200	27.746	39.209	40.188
P_2O_5	1.261	1.460	10.272	26.982	19.604
K_2O	4.916	6.850	45.007	101.606	76.456
Ca O			10.378	29.934	23.525
Pusa-Florence 381 b :		Après jachère			
Azote	3.613	7.904	26.152	47.403	50.721
P_2O_5	1.229	2.432	5.604	23.701	18.333
K_2O	4.909	10.355	39 228	108.035	93.498
Ca O			7.565	35.277	42.777
		Après vesce			
Azote	3.927	3.976	24 037	42.560	40.697
P_2O_5	1.309	1.490	6.443	26.036	18.363
K_2O	5.086	6.451	31.448	93.631	71.964
Ca O			7.351	31.548	30.771
Richelle-Florence 10,101 :		Après jachère			
Azote	3.049	7.308	29.890	45.270	56.648
P_2O_5	0.892	1.854	9.187	22.635	25.492
K_2O	4.134	8.568	45.325	108.145	92.053
Ca O			12.495	29.677	43.902
		Après vesce			
Azote	3.634	5.683	22.467	32.886	
P_2O_5	1.530	2.077	9.027	25.056	
K_2O	4.899	8.984	41.625	90.045	
Ca O			10.732	24.273	

La potasse, qui dans notre terre se montre en quantité suffisante pour assurer l'alimentation des récoltes, est absorbée par toutes les variétés à peu près de la même façon. L'assimilation de cet élément devient intense déjà en février; au mois de mars, elle est extrêmement active, et cela dure jusqu'à la floraison, après quoi la quantité de potasse de la récolte devient stationnaire et diminue ensuite progressivement. Cette perte de potasse par la plante doit être attribuée à la perte des feuilles sèches, et elle traduit l'intensité de la défoliation. Toutes les variétés se ressemblent, sauf Baroota, qui paraît avoir cette perte moins accusée.

L'azote a été obsorbé différemment par nos variétés. Sans insister sur le chevauchement des courbes d'azote de la même variété dû à ce que les semailles ont été faites plus tôt sur le champ après vesce, nous allons nous arrêter sur les particularités propres aux variétés.

Les variétés rustiques et tardives accusent un ralentissement de l'absorption de l'azote au mois de mars. C'est le cas du Mahon et du Baroota.

La variété rustique précoce 436 montre aussi un ralentissement, mais il a eu lieu en février. Possédant un pouvoir d'assimilation extraordinaire, l'Allora-Florence 436 arrive à extraire du sol une quantité d'azote très grande au mois de mars.

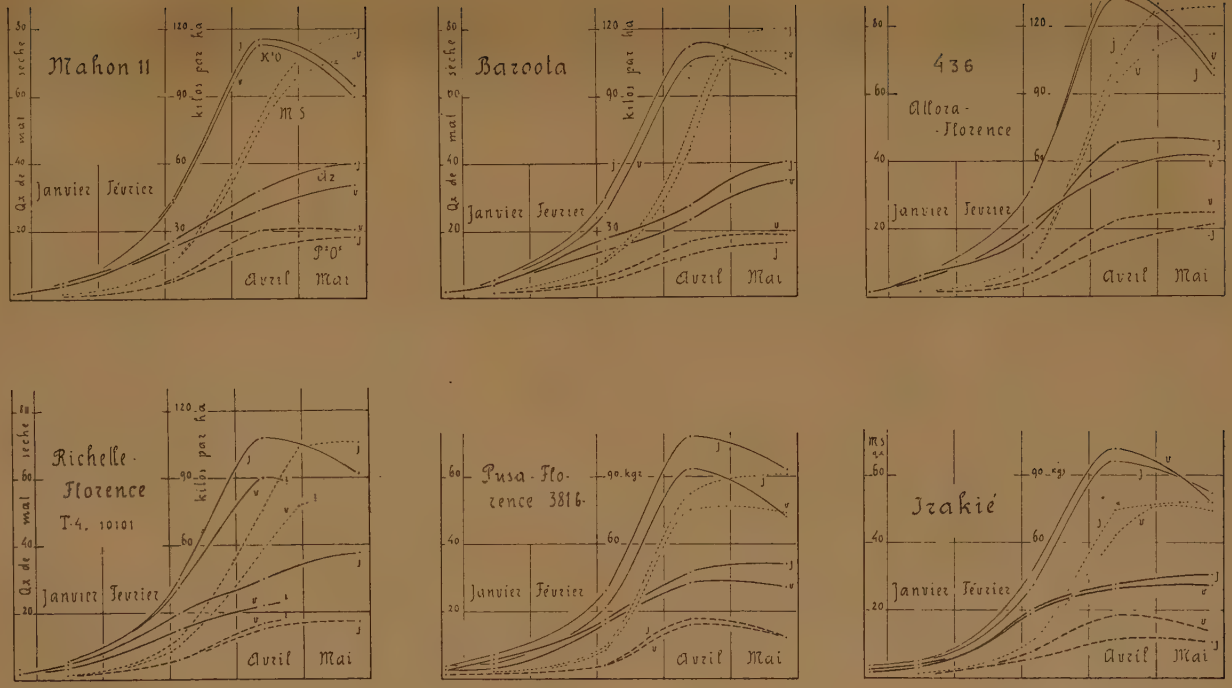
La Richelle-Florence assimile l'azote régulièrement durant toute la durée de la végétation, mais préfère les conditions de la jachère.

Le Pusa-Florence aussi est régulier, mais sa végétation s'arrête plus tôt.

Enfin, l'Irakié est semblable au précédent, avec cette différence que l'absorption de tous les éléments a lieu avec plus d'intensité, au mois de février.

L'acide phosphorique a été assimilé en plus grande quantité dans le champ après vesce qu'après jachère. Le premier se montrant plus riche en acide phosphorique à l'analyse, il faut en conclure que le dosage de l'acide phosphorique par la méthode officielle donne les indications sur la disponibilité de cet aliment pour la récolte. Mais on remarquera que les plantes *puisent l'acide phosphorique progressivement pendant toute la durée de leur développement après jachère, tandis que l'absorption s'arrête, chez toutes les variétés, le 12 avril dans le champ après vesce.*

En général, si l'absorption est la plus forte au début d'avril pour l'azote, l'acide phosphorique est assimilé surtout au mois de mars. Il fallait s'y attendre. Nous pouvons dire avec beaucoup de certitude que la jachère laisse à la disposition des plantes l'acide phosphorique



GRAPHIQUE 3. — Assimilation des éléments fertilisants par les blés en 1931-32.

sous une forme particulièrement assimilable, tandis que la vesce, même dans une terre riche en acide phosphorique, assure une alimentation phosphorique mal équilibrée à la récolte de blé qui la suit. Tant que la diffusion des substances contenues dans les racines de vesce a lieu, le blé trouve de l'acide phosphorique, mais dès que le sol se réchauffe, les microbes commencent à se multiplier et absorbent tout l'acide phosphorique, n'en laissant plus à la plante. Par contre, les microbes enrichissent le sol en azote. La reprise de leur activité au début d'avril se traduit par la disparition du P^2O^5 disponible et par l'apparition de l'azote nitrique, qui est un déchet de la vie microbienne dans une terre calcaire ou argilo-calcaire.

IV. Quantités des éléments fertilisants contenus dans une récolte normale de blé

En consultant le tableau 6, on voit que les variétés rustiques se sont contentées des quantités comparables des éléments fertilisants, à savoir : près de 60 kilos d'azote, près de 30 kilos d'acide phosphorique et près de 95 kilos de potasse.

Comme les variétés exigeantes ont mal réussi cette année (1931-32), nous sommes obligés de nous servir du Florence 135 de l'année 1930-31 pour juger de leurs exigences. Le Florence a pris 92 kg. 6 d'azote, 27 kilos d'acide phosphorique et 112 kilos de potasse pour une récolte de 23 qx. 51 de grain.

Il faut comparer ces exigences après avoir ramené nos données à un rendement en grain égal. Le tableau 7 est calculé pour le rendement de 25 quintaux de grain.

Tableau 7. — *Quantité des éléments fertilisants contenus dans la récolte de 25 quintaux de grain, avec la paille coraespondante*

VARIÉTÉS	AZOTE	ACIDE PHOSPH.	POTASSE
Rustique précoce Allora-Florence 436..	56 032	25 595	79.551
— moyenne Barootа 52.....	63.622	25.447	106.037
— tardive Mahon 11 (1930-31) ..	65.674	30.245	102 831
— — Mahon 73 (1929-30)...	72.244	30.600	104.638
Exigeante préc. Florence 135 (1929-30).	98.507	28.515	119.352

Classées par ordre de rusticité, ces variétés montrent des besoins

bien différents en éléments fertilisants. La plus rustique se contente des quantités faibles, et la plus exigeante en a demandé la quantité la plus grande.

Ainsi, l'analyse chimique, qui ne décèle que difficilement les déséquilibres de la nutrition des plantes, convient bien pour mesurer la quantité des éléments fertilisants assimilés par la récolte d'un hectare et peut même permettre le classement des variétés par ordre de leur rusticité, sous condition d'avoir réalisé la récolte qui s'écarte peu du rendement que l'on cherche à obtenir (25 quintaux, comme dans notre exemple).

Les calculs des éléments fertilisants à mettre par hectare peuvent tenir compte, *à titre de simple renseignement*, de la composition moyenne du blé. Mais, avant tout, il faut connaître les exigences des variétés. *Une variété rustique viendra souvent sans engrais et donnera un bon rendement là où une variété exigeante, même aidée de quelques engrais, se montrera encore non satisfaite.* Il faut connaître à la fois les exigences des variétés et la richesse du sol pour approprier les premières aux disponibilités du second.

OUVRAGES CONSULTÉS

C. V. Garola et P. Lavallée (1925). *Céréales*, I, p. 44-66, Paris.

I. Pierre (1866). *Recherches expérimentales sur le développement du blé.* Paris.

G. Wéry (1925). *Agenda Aide-Mémoire Agricole.* Paris.

L. Yankovitch (1929). Emploi des engrais azotés dans l'Afrique du Nord. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, t. VI.

L. Yankovitch (1933). Contribution à la meilleure compréhension du problème de l'azote dans les terres nord-africaines. Id., t. X.

V. NOVIKOFF

LE RAPPORT AZ/P^2 0^5 DANS QUELQUES VARIÉTÉS DE BLÉS TUNISIENS

L'importance du rapport Az/P^2O^5 a été entrevue dans notre étude précédente (L. YANKOVITCH et V. NOVIKOFF, *Etude sur la croissance du Blé au Service Botanique et Agronomique de Tunisie*, 1933). Nous avons constaté que, pour les blés du Service Botanique et Agronomique, les variétés rustiques montrent, à la fin de la végétation, un rapport Az/P^2O^5 qui oscille autour de 2,2 dans la plante entière (sans racines); et que ce rapport devient égal ou même supérieur à 3 pour les variétés exigeantes, les deux sortes des variétés étant placées dans des conditions de bon rendement. Partant du même ordre d'idées, nous avons cherché la confirmation de ce rapport dans les grains et les farines de quelques variétés de blé de Tunisie.

Choix des variétés et leurs caractéristiques

Nous avons pris les variétés de blés tendres les plus répandues en Tunisie et dont la caractéristique détaillée est exposée, pour la plupart, dans l'ouvrage de F. BŒUF, « Le Blé en Tunisie » (*Annales du Service Botanique et Agronomique*, t. VIII, 1932). Nous allons rappeler simplement quelques caractères principaux de ces variétés :

Pusa × Florence, très précoce..	Blé de force.
Irakié, très précoce.....	Blé de force.
Allora × Florence, précoce.....	Blé de bonne valeur boulangère.
Baroota, assez tardif.....	Blé de valeur boulangère moyenne.
Mahon, tardif.....	Blé de valeur boulangère peu élevée.

Les résultats

Dans les grains de blé de la récolte 1931-1932, provenant des cultures du Service Botanique et Agronomique de Tunisie, après la jachère, c'est-à-dire dans les conditions les plus favorables pour avoir un bon rendement, nous avons trouvé les rapports Az/P^2O^5 suivants :

	Az/P^2O^5
	—
Pusa × Florence	2,76
Irakié	2,94
Allora × Florence	2,83
Baroota	1,67
Mahon	1,81

Ces chiffres laissent apparaître la corrélation nette qui existe entre le rapport Az/P^2O^5 et la nature des variétés, dans les plantes entières et dans les grains (L. Yankovitch et V. Novikoff, *Etude sur la croissance du Blé au Service Botanique et Agronomique de Tunisie*, 1933), c'est-à-dire que chez les blés précoces le rapport Az/P^2O^5, dans les grains, oscille de 2,6 à 2,9 et dans la plante entière est égal ou supérieur à 3; chez les variétés tardives, ce rapport est un peu au-dessous de 2 dans les grains, et dans la plante (à la fin de la végétation), autour de 2,2.

Nous avons également analysé les mêmes variétés, d'origine autre que le Service Botanique et Agronomique de L'Ariana. On sait que de multiples facteurs, et principalement la variété, le climat, le sol et les engrais, modifient, dans certaines limites, la composition de la plante, et il nous paraissait intéressant de voir si le rapport Az/P^2O^5 conserve toujours la proportionnalité qui a été trouvée dans les blés de nos champs (Service Botanique et Agronomique de Tunisie); voici les résultats (dans les grains) :

	Az/P^2O^5
	—
Pusa × Florence (mélange de blés de colons)	3,17
Irakié (Gornata)	2,88
Allora × Florence (Cap-Bon)	2,70
Baroota (Gafour)	2,00
Mahon (Gafour)	2,40

Ces données sont plutôt des indications qualitatives, car nous n'avons pas de renseignements sur le rendement quantitatif; mais les chiffres ci-dessus montrent que le rapport Az/P^2O^5 dans les grains, même de provenances diverses, est toujours plus élevé pour les variétés précoces et à haute valeur boulangère et oscille autour de 3, tandis que les variétés peu précoces montrent ce même rapport oscillant autour de 2.

Le rapport Az/P^2O^5 dans les farines provenant de blé de nos champs de L'Ariana présente les valeurs suivantes :

	Az/P^2O^5
Pusa × Florence	6,09
Irakié	6,82
Allora × Florence	7,34
Baroota	6,07
Mahon	6,25

Il ressort de ces chiffres que les variations dans la composition du blé portent seulement sur l'écorce et très peu sur l'amande. Le rapport Az/P^2O^5 dans la farine ne paraît pas caractériser l'aptitude du blé et ses exigences, non plus la valeur boulangère des variétés. D'ailleurs, sur ce sujet, nous n'avons que peu de résultats personnels à notre disposition pour être plus affirmatifs.

Conclusions

Nous avons vu que le rapport Az/P^2O^5 dans les grains du blé est d'autant plus élevé que la variété est plus précoce. Ces constatations montrent que, pour donner un bon rendement, ces blés ont besoin de sols abondamment pourvus d'azote assimilable. La jachère, telle qu'elle est pratiquée en Tunisie, accumule précisément des quantités considérables d'azote nitrique vers l'automne (L. Yankovitch, *Contribution à la meilleure compréhension du problème de l'azote*, 1933); ces réserves permettent aux variétés précoces, si recherchées pour leur valeur industrielle, de satisfaire leurs besoins en azote et de donner le maximum de rendement: l'indice Az/P^2O^5, dans la plante entière et dans les grains, oscille autour de 3; la baisse du rapport montre l'insuffisance de l'approvisionnement du sol en azote assimilable. Dans les conditions de terre appauvrie, les variétés moins précoces, comme Mahon et Baroota, sont mieux à leur place; ces blés rustiques, dont le rapport oscille autour de 2, se contentent d'une teneur plus faible en azote dès le début de la végétation (F. Bœuf, *Le Blé en Tunisie*, 1932).

Donc, le rapport Az/P^2O^5 révèle, en quelque sorte, le tempérament des blés, leurs besoins en azote, et donne en même temps des indications indirectes sur leurs aptitudes boulangères.

F. BŒUF

ORGANISATION DES RECHERCHES AGRONOMIQUES AU SERVICE BOTANIQUE ET AGRONOMIQUE DE TUNISIE

Le Service Botanique et Agronomique a pu, en 1932, entreprendre la réalisation d'un programme d'ensemble relatif à la connaissance des sols, des facteurs limitant leur fertilité, de l'influence des assolements, des façons culturales et des engrais sur le régime des éléments de fertilité. C'est ce programme et les moyens techniques envisagés pour son exécution que nous exposons ci-dessous.

a) Reconnaissance pédologique de la Tunisie. — Le sol se forme, aux dépens de la roche-mère sous-jacente, sous l'influence d'agents de désagrégation et de transformation : chaleur, eau, sels et gaz dissous, vents, flore et faune laissant de la matière organique et agissant aussi mécaniquement. Des types de sol très différents peuvent se former sur une même roche-mère et le même type de sol peut provenir de roches-mères différentes, suivant les influences respectives des facteurs formatifs. Les sols d'un même type sont généralement comparables entre eux, tant au point de vue des éléments de fertilité qu'ils contiennent que de leurs propriétés physiques, tandis que la même teneur en éléments nutritifs (décelée par l'analyse), dans des sols de types différents, ne correspond pas à la même fertilité.

Avant toute étude agronomique d'une région, il convient d'en faire l'étude pédologique. Cette étude est surtout primordiale dans un pays comme la Tunisie, où les conditions climatériques et le développement de la végétation varient dans les plus larges limites, du Nord recevant plus d'un mètre de pluie, aux régions arides du Centre et aux régions pré-désertiques du Sud, créant toute une gamme de sols très différents.

L'étude pédologique préliminaire de la Tunisie a été confiée au Professeur Agafonoff, éminent spécialiste de ces questions, assisté de M. Yankovitch, chef des travaux de chimie au Service Botanique et Agronomique. La mission a parcouru la Régence, prélevant de nombreux échantillons des divers horizons des sols typiques et re-

cueillant sur place les observations nécessaires à l'étude du mode de formation des sols.

Ces échantillons font, actuellement, l'objet d'analyses chimiques complètes, d'analyses minéralogiques, d'analyses des complexes absorbants colloïdaux, au laboratoire du professeur AGAFONOFF, au Muséum d'Histoire naturelle de Paris; et, parallèlement, d'analyses physiques et de dosages des éléments de fertilité, par les méthodes agronomiques, au laboratoire de chimie du Service Botanique et Agronomique de Tunis.

Les résultats de ces travaux, qui seront ultérieurement publiés, serviront de base et de points de repère à une étude plus détaillée, de longue haleine, région par région, permettant d'escompter la connaissance des sols de Tunisie et leur classification pédologique et agronomique.

b) ETUDE DES FACTEURS LIMITANT LA FERTILITÉ. — La fertilité d'un sol ne peut pas être déduite directement de son analyse physique et chimique; celle-ci ne fournit qu'une partie des éléments d'appréciation : des engrais azotés, phosphatés ou potassiques peuvent donner un excédent de rendement, constituant un bénéfice économique, dans des terres que l'analyse révèle suffisamment pourvues d'azote, d'acide phosphorique ou de potasse.

Il est nécessaire de déterminer, par des cultures expérimentales, les éléments dont l'addition au sol augmente la fertilité. Afin d'éliminer l'influence d'un facteur limitant de grande importance, *l'eau*, qui trouble les résultats des expériences en plein champ, et celle de l'hétérogénéité du sol, ces cultures sont effectuées dans des bacs où l'on maintient une humidité convenable. Ces bacs, groupés sur des wagonnets à grande plate-forme, sont laissés dehors par beau temps, sous une cage grillagée, et rentrés lorsqu'il pleut, afin de maintenir l'humidité la plus favorable; ils reçoivent des formules d'engrais complet, des formules comportant tous les éléments moins un, ou sont privés de tout engrais. La comparaison des récoltes permet de reconnaître le ou les éléments qui agissent dans un sens favorable et qu'il y a lieu d'employer comme engrais. Il appartient ensuite aux agriculteurs exploitant ces sols de faire l'essai des engrais indiqués comme *efficaces* sur leurs terres, afin de déterminer si les conditions de milieu rendent l'emploi de l'engrais économique. Ce résultat dépend en effet de beaucoup de facteurs inhérents au milieu physico-chimique, aux méthodes culturales, au savoir-faire de l'agriculteur, au prix d'achat des engrais, au prix de vente des produits, facteurs variables d'une exploitation à l'autre, d'une année à la suivante.

Les cultures en bacs abrités permettent aussi la comparaison entre les divers engrais apportant le même élément de fertilité.

CASES DE VÉGÉTATION (Schéma de la disposition).

R) réservoirs recueillant l'eau d'infiltration.

P) pavés de verre assurant l'éclairage des couloirs.

Le Service Botanique et Agronomique dispose déjà d'une installation de ce genre, qui va être prochainement agrandie. Il importe de remarquer que cette méthode d'étude a été adoptée par de nombreux Instituts de recherches. M. Demolon a fait connaître que le Professeur russe Prianichnikoff dispose d'environ 5.000 bacs pour ses recherches [1].

c) Etude du régime des éléments de fertilité dans les sols. — Que deviennent les éléments de fertilité des sols : eau, matières organiques, azote, acide phosphorique, potasse, chaux, magnésie, etc., lorsque ces sols sont exploités par des récoltes ? Les assolements suivis, les façons culturales employées, les engrais apportés maintiennent-ils la fertilité initiale, l'augmentent-ils, épuisent-ils les réserves, et dans quelle mesure ? Autant de questions que les agronomes se sont efforcés de résoudre dans tous les pays, dont les solutions adoptées pour l'Europe demandent à être vérifiées ou révisées dans le Nord de l'Afrique.

Nous sommes mal renseignés sur la circulation de l'eau dans le sol, sur l'influence des façons culturales, à l'égard de la répartition de l'eau et de la température dans le sol, sur la fixation de l'azote atmosphérique, sur la répartition en profondeur des engrais incorporés dans la couche superficielle, sur l'entraînement des éléments de fertilité hors de la portée des racines des plantes annuelles, sur l'appauvrissement ou l'enrichissement de nos sols en matières organiques et sur bien d'autres questions très importantes, dont la solution permettrait un choix judicieux des assolements, des méthodes culturales et des engrais [2].

L'étude de ces diverses questions relatives à ce que l'on peut appeler *le régime des éléments de fertilité* dans les sols cultivés, ne peut guère s'effectuer en plein champ, faute de disposer de parcelles homogènes et comparables. Les prises d'échantillons sont lentes, pénibles, n'atteignent jamais une profondeur suffisante. Les variations de composition entre deux points voisins dépassent souvent la valeur des différences que l'on cherche à mettre en évidence. Il suffit, par exemple, d'une forte racine de plante adventice, décomposée sur place, pour provoquer un enrichissement local et occasionnel en matières organiques.

Il est nécessaire de faire disparaître, dans la mesure du possible,

---

(1) Le Congrès international de la Science du sol et l'évolution de l'agriculture en U. R. S. S., C. R. Académie d'Agriculture de France, 1930, pages 816-24.

(2 Des travaux relatifs au régime de l'azote dans des sols soumis à divers assolements et modes de préparation ont déjà été exécutés au Service Botanique et Agronomique de Tunisie par L. Yankovitch. — *Ann. Serv. Botan. de Tunisie*, t. VI, pages 119-61, t. VII, pages 225-36, et ce vol., page 1.

les causes accidentelles d'erreur, tout en conservant aux plantes les conditions normales du développement en plein champ.

Pour répondre à ces desiderata, le Service Botanique et Agronomique vient de faire construire 32 *cases de végétation*, en ciment armé, de 8 mètres cubes chacune ($2^m \times 2^m \times 2^m$), enterrées au niveau du sol. Une case sur deux est munie d'un fond cimenté recueillant les eaux d'infiltration; dans l'autre, la terre repose sur le sous-sol naturel; chaque expérience sera faite simultanément sur les deux cases. Les séries de 8 cases sont desservies par des couloirs couverts. Dans les parois donnant sur les couloirs, sont ménagées des ouvertures permettant la pose, à diverses profondeurs, de thermomètres à résistance électrique, d'appareils radio-électriques pour la mesure de l'humidité du sol en place; d'autres ouvertures permettent la prise d'échantillons pour analyse, au moyen de tarières pénétrant horizontalement.

Le plan et la coupe de l'installation et la légende explicative de la figure 1 permettent de comprendre l'agencement réalisé.

La terre, extraite par couches successives de 25 centimètres, a été remise en place dans le même ordre, toutes les cuves étant remplies avec la même terre, homogénéisée, afin de les rendre comparables. Malgré un bon tassement au moment du remplissage, il faudra plusieurs années pour que le sol reprenne son état naturel. Toute végétation adventice sera détruite dès son apparition.

Les cases sont abritées sous une cage grillagée protégeant les récoltes contre les dégâts des oiseaux.

L'installation, au voisinage immédiat des cases, de la Station météorologique du Service Botanique et Agronomique et des cultures servant à l'étude de l'influence du climat sur la végétation des plantes annuelles, complète l'organisation de ce centre de recherches agronomiques et écologiques.

L'exécution du programme d'ensemble dont nous avons tracé les grandes lignes se trouve donc sérieusement amorcée et les moyens de travail, dès maintenant disponibles, permettent de nombreuses investigations autrefois impossibles. Il faut être reconnaissant à la Direction générale de l'Agriculture et à l'Office de l'Expérimentation et de la Vulgarisation agricoles d'avoir fourni les crédits nécessaires à la réalisation de moyens de travail coûteux, ainsi qu'au Comptoir français de l'Azote, dont la Direction a tenu à participer aux dépenses qu'entraînent les recherches par le don d'une somme de 10.000 francs au Service Botanique et Agronomique.

M. MATWEEF

RECHERCHE D'UNE MÉTHODE EXPÉRIMENTALE DE PANIFICATION ET D'APPRÉCIATION DU PAIN

Le matériel de mouture du grain, de pétrissage de la pâte et de cuisson du pain dont peuvent actuellement disposer les laboratoires permet de se rapprocher suffisamment des conditions de la pratique courante pour qu'il soit possible de juger des qualités boulangères d'un blé par la panification d'échantillons de 1 à 5 kilogs.

Il est plus difficile de mettre au point une méthode d'appréciation du pain qui pourrait être généralisée afin de rendre comparables les résultats obtenus par divers expérimentateurs.

Les procédés de panification et les goûts du consommateur varient d'ailleurs d'un pays à l'autre et la généralisation d'une méthode ne peut guère être envisagée que pour une région déterminée.

La méthode d'appréciation du pain en usage en France est basée sur une notation des caractères organoleptiques de la pâte et du pain par des experts, et ne fait intervenir aucune donnée numérique résultant d'une mesure. Dans divers pays étrangers (Allemagne, Argentine, Canada, Russie, etc.), les méthodes, tout en tenant compte de la pratique boulangère locale et du goût des consommateurs, font entrer en ligne de compte diverses données numériques.

Nous nous sommes efforcé, après avoir réalisé un assez grand nombre de panifications d'essai suivant les procédés en usage dans divers pays, d'établir une méthode de panification et d'appréciation du pain qui réduise au minimum le coefficient individuel de l'opérateur. Nous sommes le premier à penser qu'elle peut encore être améliorée et nous en poursuivons d'ailleurs le perfectionnement. Si imparfaite qu'elle soit, nous avons pensé qu'elle comportait divers progrès sur la méthode actuellement en usage et nous serions heureux qu'elle apportât une contribution à l'établissement d'une méthode qui puisse être adaptée par tous les laboratoires étudiant le pain type français.

Matériel employé. — Moulin d'expérience Teisset-Rose-Brault (broyeur et convertisseur à cylindres, plansichter).

Batterie de quatre pétrins mécaniques système Lidon.

Armoire à fermentation chauffée électriquement.

Four électrique construit par Lidon : sole de $1^m 20 \times 0^m 65$.

Nous nous préoccupons d'installer une petite épointeuse assurant le nettoyage et le dégermage du grain avant le passage au moulin; actuellement, le grain est nettoyé par lavage et essorage.

Technique du travail et appréciation de la pâte. — La farine subit un repos de sept jours après la mouture. La veille de la panification : détermination de l'humidité de la farine et du pourcentage d'absorption d'eau de cette dernière, en délayant 50 grammes de farine avec de l'eau contenue dans une burette Mohr. Le jour de la panification, pour avoir de la pâte confectionnée à 25°, on note la température ambiante (T) et on porte de l'eau à la température de 50°-T. La température de l'eau ne doit pas dépasser 40°, c'est-à-dire que la température ambiante doit être supérieure à 10°.

Formule du mélange :

Farine, quantité correspondante à 1 kg. ramenée à 15 % d'humidité; 800 gr. dans le pétrin; le reste, environ 200 gr., gardé à part sur une assiette.

Levure pressée, du commerce : 4 à 5 gr., suivant température.

Sel fin de table : 17 gr.

La levure est délayée, quinze minutes avant la coulée dans la farine, dans 100 cmc. d'eau portée à la température indiquée plus haut; le sel est dissous dans 100 cmc. d'eau à la même température (ne pas mélanger la solution de sel avec la suspension de levure).

Le pétrin, avec 800 gr. de farine, est mis en marche; on y coule d'abord les 100 cmc. d'eau contenant la levure, puis la quantité d'eau calculée la veille, diminuée de 250 cmc. (100 cmc. déjà ajoutés avec la levure, 100 cmc. à ajouter avec le sel et 50 cmc. tenus en réserve) et enfin la solution de sel. Pendant le pétrissage, certaines pâtes se relâchent, sans doute sous l'action de diastases, protéolytiques et autres; d'autres pâtes se raffermissent, cas assez rare. La détermination préalable du pouvoir d'absorption d'eau par la farine, faite sur un malaxage de courte durée, ne donnant qu'une approximation, il importe de garder de l'eau pour corriger une fermeté excessive de la pâte, car il faut éviter d'avoir à corriger une pâte trop molle par une addition de farine. On met les pétrins en marche pendant cinq minutes, dans le but de former une pâte assez liquide et homogène.

Pendant le travail, les pétrins sont grattés avec une corne de boulanger dans le but de bien incorporer toute la farine à la pâte.

Les pétrins sont arrêtés pendant cinq minutes, afin d'homogénéiser la masse et de rendre la levure plus active.

On ajoute les 200 grammes de farine mis à part et on remet en marche, en aidant, avec la corne, à l'incorporation de la farine dans la pâte.

Après cinq minutes de travail, il est facile de se rendre compte si la pâte demande de l'eau. Dans l'affirmative, on l'ajoute peu à peu, en se servant d'un verre gradué et en restant plutôt au-dessous de la quantité maximum demandée, par crainte d'un ramollissement à la fin du pétrissage; la correction est complétée à ce moment. Cette première frase dure dix minutes.

Suit un repos de cinq minutes, pendant lequel on observe mieux les qualités de la pâte; au cours du travail, elle se montre plus tenace et plus ferme qu'au repos.

La deuxième frase dure quinze minutes et achève le pétrissage. A son début, il peut être utile d'ajouter encore un peu d'eau, si la tenue de la pâte le demande.

Un bon moyen pour juger de la consistance de la pâte, en plus du toucher, consiste à observer si la masse détachée de la paroi du pétrin par le fraseur y laisse adhérer de légères traces de pâte.

L'obtention d'une pâte présentant exactement la meilleure consistance est l'une des principales difficultés du pétrissage; elle présente une grande importance pour le façonnage des pains et leur tenue pendant la cuisson.

On note la quantité d'eau ajoutée à la farine; le chiffre ramené à 1 kg. de farine à 15 % d'humidité initiale donne le *pourcentage d'absorption d'eau*, qui entrera dans la notation de la pâte : échelle 1 à 10 d'après le barème suivant :

Absorption d'eau par la farine (humidité initiale 15 %).

Les variations enregistrées par divers expérimentateurs vont de 45 à 75 %.

Les variations observées par nous s'échelonnent entre 53 et 65 %.

Echelle de notation adoptée

	Note		Note
Au-dessous de 52	1	60 à 62	6
52 à 54	2	62 à 64	7
54 à 56	3	64 à 66	8
56 à 58	4	66 à 68	9
58 à 60	5	68 et au-dessus	10

La souplesse de la pâte fait également l'objet d'une note (échelle 1 à 3).

La pâte est mise à fermenter dans des verres cylindriques gradués, dont le volume est au moins trois fois celui de la pâte; ces vases sont placés dans une armoire-étuve maintenue à 26° C.

Quand la pâte a doublé de volume, on note le temps de fermentation, ainsi que la forme de la surface libre de la pâte, qui doit présenter un dôme suffisamment accusé. La *fermentation* fait l'objet d'une note (échelle 1 à 4).

Les récipients sont vidés sur la table à façonner; la pâte est découpée en deux pâtons de 500 gr. et deux ou trois de 200 gr. suivant la quantité disponible. Les premiers sont façonnés en pains ronds, les autres en pains longs; tous sont déposés dans des bannetons appropriés et placés à l'étuve, dont la température est portée à 28° C.

La *facilité de façonnage* (*tourne*) est exprimée par une note (échelle 1 à 3).

La fermentation en bannetons dure de 30 à 45 minutes suivant le volume du pain (les plus gros demandent le temps le plus long).

Le moment de l'enfournement se reconnaît au toucher (le doigt doit laisser une légère empreinte persistante à la surface de la pâte) et à la forme de la surface, qui commence à s'aplatir.

Le four a été porté préalablement à 270° C; on enfourne en disposant les pains en damier, s'ils appartiennent à plusieurs échantillons panifiés comparativement avec un témoin, afin d'éliminer l'influence de la situation dans le four (influence très faible dans un four électrique).

La cuisson dure environ 35 minutes.

Les pains sortis du four sont mis à refroidir et leur appréciation a lieu 12 à 15 heures plus tard (le lendemain).

Appréciation du pain. — Certaines qualités essentielles du pain sont susceptibles d'être mesurées : rendement en poids et en volume, forme.

D'autres, la texture de la croûte et celle de la mie, pourraient être rapportées à des structures-types.

L'ensemble des notes concernant ces qualités, ainsi que la facilité de travail de la pâte, exprime, en quelque sorte, la valeur intrinsèque du pain.

Celui-ci peut toutefois présenter des défauts qui en diminuent la valeur : mauvaise couleur de la croûte et de la mie, odeur et goût désagréables, disposition à devenir rapidement rassis.

L'ensemble des notes exprimant ces défauts doit être retranché de la somme des notes exprimant les qualités.

Ces défauts ne peuvent guère être appréciés que par les sens, sauf peut-être la couleur de la mie (au moyen d'une cellule photo-électrique). Leur gravité, surtout pour ce qui concerne le goût et l'odeur, peut être telle qu'elle rend le pain immangeable. Il convient donc de donner à ces défauts une note assez élevée pour diminuer de beaucoup et même annuler celle qui représente les qualités. Dans les cas normaux, la réduction sera, au contraire, peu importante ou nulle.

a) Qualités.

1. *Volume.* — Il est mesuré sur le pain rond de 500 gr., à surface lisse, au moyen de petites graines rondes (colza) faisant le plein d'un volume connu. Ce volume est rapporté à 100 gr. de farine à 15 % d'humidité. Plus le volume est grand, plus le pain est léger.

Variations enregistrées par divers auteurs : 200 à 600 cmc.

Variations observées par nous : 245 à 455 cmc.

	Note
Au-dessous de 220	1
220 à 240	2
240 à 260	3
.....	..
.....	..
560 à 580	19
Au-dessus de 580	20

2. *Rendement en poids.* — Rapporté à 100 grammes de farine à 15 % d'humidité. Déterminé sur les deux pains ronds.

Variations enregistrées par divers expérimentateurs : 110 à 150 gr.

Variations observées par nous : 120 à 139 gr.

	Note
Au-dessous de 112	1
112 à 114	2
114 à 116	3
.....	..
.....	..
146 à 148	19
Au-dessus de 148	20

3. *Forme du pain.* — Elle peut être notée facilement sur le pain

rond par le rapport $\frac{H}{D}$ de la plus grande hauteur H au diamètre D. Cette détermination donne une idée très exacte de la tenue et du développement de la pâte au four. Plus le rapport $\frac{H}{D}$ est élevé, meilleure est la qualité du pain.

Variations enregistrées par divers expérimentateurs : 0,25 à 0,70.

Variations observées par nous : 0,32 à 0,58.

	Note
Au-dessous de 0,25	1
0,25 à 0,275	2
0,275 à 0,30	3
.....	..
.....	..
0,675 à 0,70	19
Au-dessus de 0,70	20

4. *Croûte* (*texture et beauté*). — La croûte doit être mince, avec les coups de lame bien relevés, sans présenter de crevasses.

Echelle : 1 à 10.

L'appréciation est faite par expert. Pour supprimer le coefficient personnel, il conviendrait de se rapporter à des standards conservés en bocaux stérilisés.

5. *Mie* (*texture*). — Les alvéoles préférées sont assez grandes, réparties dans toute la masse, séparées par des cloisons aussi minces que possible.

Echelle : 1 à 10.

L'appréciation, faite par expert, peut être facilitée en comparant les empreintes de la tranche, exécutées à l'encre d'imprimerie sur un fond clair, avec une échelle d'empreintes-types établies d'avance.

DÉFAUTS.

1. *Couleur de la croûte.* — Couleur terne, non dorée.

Echelle : 0 à 5. Appréciation par expert, sur comparaison avec standard.

2. *Couleur de la mie.* — Toute altération du blanc crème.

Echelle : 0 à 5. Appréciation par expert; on pourra peut-être lui substituer l'examen par cellule photo-électrique.

3. *Odeur.* — Odeur aigre, odeur de moisi, odeur de fenugrec, de mélilot, d'ail, etc.

Echelle : 0 à 5. Appréciation par expert.

4. *Saveur.* — Mêmes défauts que pour l'odeur.

Echelle : 0 à 5. Appréciation par expert.

5. *Disposition à passer rapidement à l'état rassis.* — S'observe facilement par des examens successifs pendant les 24 heures qui suivent la cuisson.

Echelle : 0 à 5.

NOTATION DE LA VALEUR BOULANGÈRE :

Les qualités et les défauts ne présentent pas la même importance. Les notes qui les expriment doivent être affectées de coefficients qui correspondent à leurs valeurs respectives.

Nous nous sommes arrêté, au moins provisoirement, au mode de notation résumé dans le tableau suivant :

		Note maximum		Coefficient	Produit maximum
	a) *Qualités* (notes positives) :				
Ae	Absorption d'eau	10	×	0,5	5
P	Pétrissage 3 / Fermentation 4 / Tourne 3	10	×	0,5	5
Rp	Rendement en poids	20	×	0,5	10
Rv	Rendement en volume	20	×	2	40
$\frac{H}{D}$	Rapport $\frac{H}{D}$	20	×	1	20
Cr	Croûte (texture)	10	×	1,5	15
M	Mie (texture)	10	×	0,5	5
				TOTAL	100

		Note maximum		Coefficient	Produit maximum
	b) Défauts (notes négatives :				
Cc	Couleur de la croûte	— 5	×	4	— 20
Cm	Couleur de la mie	— 5	×	4	— 20
O	Odeur	— 5	×	5	— 25
S	Saveur	— 5	×	5	— 25
R	Passage à l'état rassis	— 5	×	2	— 10
				TOTAL	—100

La formule d'appréciation est la suivante :

$$(0{,}5\,Ae + 0{,}5\,P + Rp + 4\,Rv + 2\,\frac{H}{D} + 1{,}5\,Cr + 0{,}5\,M) - (2\,Cc + 2\,Cm + 2{,}5\,O + 2{,}5\,S + R)$$

L'échelle de cotation va de 0 à 100; les degrés peuvent être groupés comme suit :

0 à 20	=	valeur boulangère	mauvaise
20 à 40	=	—	médiocre
40 à 60	=	—	passable
60 à 80	=	—	bonne
80 à 100	=	—	très bonne

Il est à remarquer :

1° que les facilités de pétrissage et de façonnage de la pâte, en réalité secondaires, n'interviennent que pour 5/100es du total;

2° que, dans la notation des qualités, 75/100es des points proviennent de mesures (absorption d'eau, rendement en poids et en volume, rapport $\frac{H}{D}$) et concernent bien les qualités les plus essentielles.

L'Ariana, le 15 décembre 1932.

(*Laboratoire de technologie du Service Botanique et Agronomique.*)

M. MATWEEF

ACTION AMÉLIORANTE DES BLÉS DURS TUNISIENS

A L'ÉGARD DES

BLÉS TENDRES DE FAIBLE VALEUR BOULANGÈRE

L'addition d'une certaine quantité de farine de Blé dur à la farine de Blé tendre, pour la panification, est de pratique courante dans tous les pays producteurs de Blé dur, de même que la préparation de pain exclusivement avec cette dernière espèce de Blé.

Nous avons expérimenté, comparativement, des farines pures de tendre, des farines pures de dur et des mélanges à taux variable, dans lesquels le Blé dur entrait pour 15 à 50 %.

Les Blés tendres essayés ont été les variétés tunisiennes (Mahon, Baroota et Richelle), constituant des Blés boulangers moyens (non des Blés de force), et un mélange de huit Blés tendres français (les plus importants comme surface occupée dans la Métropole) provenant de la récolte *1931*, ayant une valeur boulangère assez faible.

Les Blés durs expérimentés sont le Biskri, le Mahmoudi et le Sbéi, qui représentent la presque totalité des emblavures de Blé dur en Tunisie.

Ci-dessous, à titre d'exemple, les résultats obtenus en panifiant simultanément le Blé français (huit variétés en mélange), le Blé dur Biskri pur et le mélange 75 % de Blé français + 25 % de Biskri (voir tableau en tête de la page suivante).

Les résultats notés dans ce tableau, ainsi que les observations faites au cours du travail, permettent de résumer comme suit l'amélioration résultant de l'addition de farine de Blé dur à la farine de Blé tendre :

La pâte, devenue plus élastique, se pétrit et se façonne beaucoup plus aisément.

La fermentation est plus régulière.

Le volume du pain est beaucoup augmenté.

La forme est plus haute, par rapport au pain de Blés français.

La croûte et la mie ont une meilleure texture.

	BISKRI PUR		BLÉS FRANÇAIS PURS		MÉLANGE 25 % BISKRI	
	Mesures	Note	Mesures	Note	Mesures	Note
a) *Qualités :*						
Absorption d'eau.....	62,7	3,5	53,7	1	55,8	2
Pétrissage, fermentation, tourne.....		5		2,5		5
Rendement en poids.....	135,1	6,5	126,5	4,5	135,4	6,5
Rendement en volume...	418,3	22	365,8	18	480,1	30
Forme (Rapport $\frac{H}{D}$).....	0,59	15	0,37	6	0,56	14
Croûte (texture).....		8		6		8
Mie (texture).....		6		3		8
TOTAL des notes positives...		67		42,5		73,5
b) *Défauts :*						
Couleur de la croûte.....		0		— 4		0
Couleur de la mie.....		4		— 8		0
Odeur.....		0		0		0
Saveur.....		0		0		0
Passage à l'état rassis....		0		— 4		0
TOTAL des notes négatives...		— 4		— 16		0
Notes définitives.....		63		26,5		73,5

La couleur de la mie, blanc-grisâtre avec les Blés français, devient blanc-crème.

Enfin, le pain passe moins vite à l'état rassis.

Les Blés durs : Biskri, Mahmoudi et Sbéi, employés à l'état pur, donnent un pain de bonne qualité.

Le mélange de 25 % de ces Blés avec les Blés français, proportion qui nous a donné les meilleurs résultats, permet d'obtenir un pain très supérieur à chacun des deux témoins.

Nous avons obtenu des résultats de même sens en ajoutant 25 % de Blé dur aux Blés tendres tunisiens; l'amélioration était toutefois moins accusée, ces derniers Blés ayant, à l'état pur, une valeur boulangère relativement élevée.

On peut donc conclure que les Blés durs expérimentés sont susceptibles d'être employés comme améliorants des farines de Blés tendres faibles. Le prix très inférieur auquel sont cotés les Blés durs n'est

nullement justifié par une infériorité à l'égard des Blés tendres. Il est désirable, pour le producteur et le consommateur, que l'emploi des Blés durs dans la panification se généralise.

De nombreux agriculteurs et minotiers tunisiens ont pu vérifier les constatations rapportées ci-dessus et déguster les pains d'essais, au cours d'une visite au Service Botanique et Agronomique, à l'occasion de la Foire de semences de Tunis, en octobre 1932.

Cette série de panifications expérimentales a permis une comparaison entre les résultats obtenus et ceux qu'a donnés l'extensimètre pour les mêmes farines. Ces derniers sont rapportés ci-dessous :

	P	G	W
Biskri ac2	146.9	11.6	142.3
Mahmoudi ap4	113.6	11.1	116.1
Blés tendres français (8 variétés)	52.6	11.8	62.3
Mahon 73	41.5	15.3	94.4
Baroota 52	71.5	11.7	83.1
Biskri 25 % + Blés français 75 %	72.5	11.9	97.4
Mahmoudi 25 % + Blés français 75 %	60.9	11.1	75.8
Biskri 25 % + Mahon 75 %	51.7	14.2	72.1
Mahmoudi 25 % + Baroota 75 %	82.3	11.7	93.5

Les pains obtenus avec les mélanges étaient tous de bonne qualité, malgré un indice G assez bas et un W inférieur à 100. Ils étaient très supérieurs à ceux obtenus avec les Blés tendres panifiés seuls et à ceux que livre la Boulangerie à Tunis.

Leur goût, un peu plus accentué que celui du pain de Blé tendre pur, a été trouvé excellent par toutes les personnes qui les ont dégustés.

L'Ariana, le 15 décembre 1932.

(*Laboratoire de technologie du Service Botanique et Agronomique.*)

M. MATWEEF

ÉTUDE DE MÉLANGES DE FARINES A L'EXTENSIMÈTRE CHOPIN

Contrôle de la règle d'Additivité des propriétés mécaniques des constituants

Dans une précédente note [1], nous avons fait connaître la valeur corrective de quelques Blés de force tunisiens à l'égard d'un certain nombre de Blés français et cherché à vérifier s'ils suivent la règle énoncée par CHOPIN : « Le travail de déformation W d'un mélange est une fonction additive des W des constituants. »

Cette règle était satisfaite pour un certain nombre de mélanges; d'autres présentaient, entre le W obtenu et le W calculé, des écarts plus ou moins importants.

CHOPIN [2] attribue ces écarts à des erreurs expérimentales. Toutefois, l'étude qu'il voulut bien faire du Blé tunisien Irakié lui permit de constater des écarts négatifs, constants, d'ailleurs assez faibles : 5.8 — 8.2 — 8.2 — 4.4 pour des proportions respectives d'Irakié de 20, 40, 60 et 80 %, dans un mélange avec un Blé de pays.

Les chiffres obtenus avec l'extensimètre, quelque soins que l'on apporte aux manipulations, présentent une certaine fluctuation et il est possible qu'en n'utilisant que des moyennes de 5 à 10 essais, la loi d'additivité se montre suffisamment approchée pour être considérée comme exacte dans la pratique.

Nous avons tenu, toutefois, à répéter notre étude de mélanges de Blés en variant autant que possible la nature des constituants de ces mélanges.

Dans une première série, ont été utilisés : comme Blés de force, un Manitoba N° 1 normal et un Irakié mal équilibré, à forte ténacité et à faible gonflement; comme Blés faibles, 5 Blés français de la récolte 1931, assez médiocres comme valeur boulangère. Dans notre esprit, cette série pouvait nous permettre de constater les différences de comportement de deux Blés de force très différents et l'influence, à l'égard de chacun d'eux, des divers Blés faibles.

Dans une deuxième série, les deux Blés de force employés présen-

(1) Acad. agric. Fr. Proc.-verb. séance 4 février 1931.

M. CHOPIN. — Remarques sur la valeur corrective du Blé « Irakié ». *Annales du Serv. Botan. et Agron. de Tunisie*, t. VII, 1930. pp. 51-3.

taient des indices presque identiques, ce qui devait permettre de se rendre compte de l'influnce de la nature de la variété, dans des conditions égales de caractéristiques extensimétriques.

Cette série comprend les mêmes Blés faibles que la série précédente. On remarquera qu'ils ont donné, à l'extensimètre, des résultats un peu différents de ceux obtenus dans la première série; ces différences paraissent tenir au fait que les farines de ces Blés, obtenues d'une seule mouture, avaient subi un repos plus long (10 jours) pour la deuxième série.

La troisième série comprenait : comme Blés de force, un Manitoba mal équilibré, de W très élevé, et un Pusa × Florence 387 à W beaucoup plus bas que ceux de la série précédente; comme Blés faibles, 3 Blés français et 2 Blés tunisiens de G très peu différents et de W allant de 47,6 à 107,8.

Cette série était constituée pour éliminer l'influence de différences de la valeur de G dans l'un des constituants.

Une quatrième série, non prévue dans notre programme primitif, et d'ailleurs incomplète, peut être constituée par des mélanges de deux Blés durs tunisiens (Biskri ac2 et Mahmoudi ap4) au taux de 15-25 et 50 % avec des Blés tendres français (mélange de 8 variétés) et deux Blés tunisiens (Mahon 73 et Baroota 52). Cette série avait pour objet l'étude de l'aptitude à la panification des Blés durs mélangés à des Blés tendres. La note précédente a fait connaître les résultats obtenus au point de vue des qualités du pain.

Les déterminations ont été faites parallèlement, dans chaque série, pour les témoins et pour les mélanges. Ces derniers ont été faits avec 25-50 et 75 % du Blé de force.

Les Blés ont été moulus séparément; la farine pure a été criblée dix fois et chaque mélange, d'abord bien brassé, a subi également dix criblages pour l'homogénéiser, dans la mesure du possible.

Ci-après les résultats obtenus (voir tableau des pages 142 et 143).

Les résultats ci-dessus permettent un certain nombre d'observations [1].

Les données de l'extensimètre présentent toujours une certaine fluctuation, et nous pouvons admettre que des écarts inférieurs à 10 % du chiffre calculé ont beaucoup de chances d'êtres dus à des erreurs expérimentales. Lorsque les écarts sont plus grands et surtout lorsqu'ils sont tous de même sens, dans les trois mélanges des mêmes constituants, ils paraissent mériter d'être pris en considération.

---

(1) Pour abréger, les mélanges sont désignés par leur numéro. — Exemple (5 a) = Vilmorin 27 + Manitoba 1; (10 b) = Vilmorin 27 + Pusa-Florence 385, etc.

Nous bornerons nos observations à ces cas particuliers.

L'*Inversal*, dont le G est le meilleur parmi les Blés tendres, se comporte à peu près régulièrement avec Manitoba (1 a), et avec les Pusa× Florence 381 (6 a) et 385 (6 b); son amélioration par l'Irakié, dont le G est faible, dépasse très sensiblement le résultat calculé (1 b).

Le *Bon Fermier*, dont le G est faible, montre des écarts irréguliers avec Manitoba (2 a) et avec Pusa × Florence 385 (7 b) et des écarts positifs très sensibles avec l'Irakié (2 b) et avec Pusa × Florence 381 a.

Alliés montre des écarts irréguliers; le mélange le plus avantageux est avec Pusa × Florence 385 (8 b), le moins avantageux avec l'Irakié (3 b).

Vilmorin 23 présente le cas inverse; écarts sensibles tous positifs avec l'Irakié (4 b), écarts sensibles et tous négatifs avec Pusa × Florence 385 (9 b).

Vilmorin 27 montre les mélanges les plus avantageux avec Pusa × Florence 381 a (10 a) et avec Pusa × Florence 385 (10 b).

Les deux Blés améliorants *Pusa* × *Florence 381 a* et *385*, bien que présentant des indices extensimétriques presque identiques, se comportent différemment à l'égard de certains Blés faibles, particulièrement du Bon Fermier (7 a et 7 b) et du Vilmorin 23.

Dans la 3e série, le Manitoba, mal équilibré, à P exagéré, donne avec tous les Blés des écarts négatifs, preuve que ses facultés améliorantes ne trouvent pas leur complète expression.

Le Pusa × Florence 387, à faible valeur améliorante, donne beaucoup d'écarts négatifs, moins accusés que pour le Manitoba, et quelques écarts positifs quand sa proportion atteint 50 et 75 % dans les mélanges.

Il est à noter que son mélange avec un autre Blé tunisien, le Baroota, qui lui était un peu supérieur (15 b), donne lieu à des écarts très irréguliers et inexplicables.

La 4e série, très incomplète, donne peu d'indications; la plupart des écarts y sont négatifs, probablement en raison du G très faible des Blés durs.

Les résultats très favorables obtenus à la panification n'auraient, dans aucun cas, pu être prévus d'après ceux donnés par l'extensimètre.

La seule conclusion générale que l'on puisse tirer de cette étude sur les mélanges de Blés nous paraît être qu'il existe des cas dans lesquels le W du mélange présente, par rapport à la moyenne arithmétique des W des constituants, des écarts sensibles, dont il y a lieu de chercher l'explication, encore inconnue.

Variétés de Blés	BLÉS PURS Extensimètre		
	P	G	W
1re Série			
Manitoba N° 1 (1er lot)	74.1	19.3	268.6
Irakié N° 231 (Tunisie)	102.5	13.9	174.7
1 Inversal (France)	51.5	16.1	88.3
2 Bon Fermier (France)	65.8	11.2	65.7
3 Alliés (id.)	51.2	12.5	64.3
4 Vilmorin 23 (id.)	36	13.4	49.3
5 id. 27 (id.)	77.6	12.3	97.5
2e Série			
Pusa-Flor. 381 a (Tunisie)	112.4	15.9	211.3
id. 385 (id.)	112	15.8	213.7
6 Inversal (France)	63.5	16.2	117
7 Bon Fermier (France)	82.1	10.5	83.6
8 Alliés (id.)	58	11.8	69.9
9 Vilmorin 23 (id.)	38	14	54.8
10 id. 27 (id.)	108.4	10	111.6
3e Série			
Manitoba N° 1 (2e lot)	144.5	18.7	406.7
Pusa-Flor. 387 (Tunisie)	85.2	15	140.9
11 Prépar. Etienne (France)	47.1	15.1	80.1
12 Institut agron. (id.)	38.1	14.9	54.9
13 Hybride 40 (id.)	57.1	14.3	97.1
14 Mahon 73 (Tunisie)	39.3	14.5	47.6
15 Baroota (52) (id.)	90.4	15.1	170.8
4e Série			
Biskri ac^2 (Tunisie)	146.9	11.6	142.3
Mahmoudi ap^4 (Tunisie)	113.6	11.1	116.1
16 Blés français (8 var.)	52.6	11.8	62.3
17 Mahon 73 (Tunisie)	41.5	15.3	94.4
18 Baroota 52 (id.)	71 5	11.7	83.1

à l'extensimètre Chopin

Mélanges : Ecart entre W observé et W calculé en % de W calculé					
Proportion du Blé de force			Proportion du Blé avec force		
25 %	50 %	75 %	25 %	50 %	75 %
a) avec Manitoba			b) avec Irakié		
2.3	21.5	11	36.4	28.8	14
— 0.3	17.7	— 1.8	22.8	39.4	23
7.1	— 5.1	12.1	— 10.9	— 5	— 7
— 14.4	9.9	7.9	6.8	19	28.7
9.8	5.7	11.9	10.7	22.1	18.3
a) avec Pusa-Florence 381 a			b) avec Pusa-Florence 385		
— 5.2	— 4.6	5.1	— 4.1	— 14.5	3.9
14.6	14.1	16.6	— 10.8	— 18.2	6.8
— 1.2	19.4	6.6	4	3 8	21.5
— 9.2	4	17.1	— 20.3	— 12.7	— 19.5
14	37.6	55.2	— 3.1	27.3	24.3
a) avec Manitoba			b) avec Pusa-Florence 387		
— 12.5	— 9.9	— 17.7	— 21.7	— 5.5	12.1
— 22.9	— 26.3	— 14.1	— 9.8	— 7.7	8
— 20.5	— 20	— 13.8	— 16.9	13	23.6
— 3.7	— 20.9	— 4.8	— 3.4	2.8	— 2.8
— 10.4	— 15.5	— 8.7	— 17.9	— 4.5	18.6
a) avec Biskri ac[2]			b) avec Mahmoudi ap[4]		
15 %	25 %	50 %	15 %	25 %	50 %
»	15.5	— 7.6	— 2.6	— 25.3	»
— 21.1	— 47.6	— 24.4	»	»	»
»	»	»	— 6.5	2.4	— 9.9

L'exemple rapporté ci-après semble fournir une indication sur l'orientation à donner à ces recherches.

Cas particulier d'un blé provoquant, dans les mélanges, la liquéfaction des pâtes

Un meunier de Tunis nous a consulté sur un Blé dont la farine avait provoqué des plaintes des boulangers locaux : même mélangée à faible taux à d'autres farines, celle de ce Blé provoquait la liquéfaction des pâtes, rendant le pain plat et lourd.

Ce Blé, acheté en Algérie, pesait, aux dires du meunier, 81 kilogs à l'hectolitre et dosait 11 % de gluten sec; rien, dans son aspect ni dans son odeur, ne permettait de déceler sa mauvaise qualité boulangère.

Un premier mélange de 10 % de ce Blé avec 90 % de Manitoba N° 1 nous donna, à l'extensimètre, des courbes décroissantes de la première à la dernière :

Première courbe...	P = 123.7	G = 19.5	W = 392.9
Dernière courbe....	= 76.5	= 17.1	= 204.4

Il s'était produit, au cours des 10 minutes que dura l'essai, après les 20 minutes de repos de la pâte, une liquéfaction de cette dernière, accusée par la baisse des trois indices, mais surtout de P et de W.

D'autres mélanges comportant respectivement 80-60-40 et 20 % de Manitoba, étudiés en même temps que les témoins, ont donné les résultats suivants :

Témoins et mélanges	Valeur de G			Valeur de W		
	obtenue	calculée	Ecart %	obtenue	calculée	Ecart %
Blé en question.....	7.4			23.1		
Manitoba N° 1.....	19.4			253.8		
Blé × Manitoba 80 %...	20.2	16 5	22.4	140.4	206	— 31.7
— — 60 %...	19.4	14.5	33.8	82.8	160	— 48.2
— — 40 %...	15.0	12.2	29.9	37.8	115	— 67.1
— — 20 %...	7.7	9.8	21.4	24.6	62.2	— 64.1

Il est facile de constater par les chiffres ci-dessus que l'addition de ce Blé au Manitoba en diminue progressivement le W, tandis que le G du mélange dépasse très sérieusement le G calculé, tant que la proportion de Manitoba reste d'au moins 40 %. C'est la ténacité P, qui est diminuée par la liquéfaction de la pâte.

Il eût été intéressant d'étudier l'activité diastasique de ce Blé véritablement anormal. La nécessité de passer à l'extensimètre les très nombreux lots issus de cultures d'expérience, celle de donner des directives à la sélection, ne nous ont pas permis d'entreprendre cette recherche.

Le cas particulier nous confirme dans l'idée que certains Blés peuvent apporter des modifications, très importantes, à la règle d'additivité des propriétés mécaniques des constituants d'un mélange de farines et qu'il y aurait intérêt à rechercher les causes de ce comportement irrégulier, soit dans l'activité des diastases protéolytiques des Blés, soit dans les facultés de dissociation des protéines des différents Blés sous l'influence des ferments apportés par les farines et par la levure.

Ariana, le 15 décembre 1932.

(*Laboratoire de Technologie du Service Botanique et Agronomique.*)

P.-M. ROUSSEAU

Enquête sur la Concentration des Moûts de Raisin

A la suite d'une proposition faite par le Laboratoire de Technologie de l'Ecole Coloniale d'Agriculture de Tunis, concernant la mise en expérimentation de la concentration de jus de fruits, l'Office de l'Expérimentation et de la Vulgarisation agricoles a jugé utile de faire procéder tout d'abord à une enquête sur les possibilités industrielles de la concentration du moût de raisin.

La concentration des jus de fruits, qui est pratiquée depuis longtemps déjà pour les besoins de la confiserie en particulier, n'a pas été étendue au moût de raisin, tout au moins d'une façon industrielle, tant que le vin a trouvé dans la consommation directe un écoulement facile et avantageux.

La question préoccupe actuellement diverses régions viticoles, et des essais industriels de concentration de moût sont en cours en France et en Algérie.

Enquête faite en France. — Une première enquête fut faite à ce sujet, fin novembre 1931, dans les centres de Dijon et de Montpellier.

Les conclusions de cette enquête, basées sur les résultats obtenus, et appuyés de l'opinion de diverses personnalités viticoles, ne permettaient pas d'envisager la concentration comme un procédé susceptible d'un grand avenir.

Au point de vue économique, le principal intérêt attaché à cette transformation était l'utilisation des concentrés pour la chaptalisation des vins. Or, en dehors des difficultés résultant de la législation en vigueur, les essais réalisés par MM. Ferré, Directeur de la Station OEnologique de Beaune, Ventre, Professeur d'OEnologie à l'Ecole Nationale d'Agriculture de Montpellier, et Pasquet, Directeur des Services Agricoles de l'Hérault, démontraient que les vins chaptalisés avec des moûts concentrés sont d'une qualité nettement inférieure à ceux obtenus avec du sucre raffiné.

D'autre part, certains défauts, tels que : goût de cuit, instabilité du concentré, dépôt abondant constaté dans divers échantillons, venaient encore renforcer l'opinion défavorable à la fabrication industrielle des moûts de raisin concentrés.

Enquête faite en Algérie. — Une seconde enquête fut réalisée dans

le début de février 1932 à la Distillerie Coopérative de Boufarik, où des essais industriels étaient en cours avec plusieurs types d'appareils, sous la haute direction de M. Nemoz, Directeur de la Coopérative.

Trois types d'appareils ont été étudiés à la Distillerie Coopérative de Boufarik :

Un appareil Lemale analogue à celui utilisé aux essais de concentration de Montpellier.

Un appareil Kestner à grimpage des jus.

Un appareil Cazagne.

Les meilleurs résultats ont été obtenus avec l'appareil Cazagne, dont la construction a été réalisée spécialement pour ces essais suivant les indications de M. Nemoz.

Appareil de concentration Cazagne

L'appareil Cazagne est en cuivre argenté intérieurement. L'argenture étant considérée, tout au moins pour le moment, comme le seul moyen d'éviter la production de goût métallique dans le concentré.

Cet appareil (*fig. 1*) est formé de quatre parties essentielles :

Un éjecto-videur, relié à un condensateur barométrique.

Un premier évaporateur.

Un séparateur relié directement au précédent.

Un évaporateur final.

L'éjecto-videur, destiné à faire le vide, fonctionne sous pression de vapeur à 10 kilos. La vapeur condensée est entraînée par un courant d'eau dans une colonne de 12 mètres formant colonne barométrique, qui peut être remplacée par une pompe centrifuge.

Le premier évaporateur est constitué par deux cylindres verticaux emboîtés l'un dans l'autre et laissant entre eux un espace réduit destiné à la circulation du moût, qui est ainsi réparti en pellicule mince occupant une grande surface. Cette pellicule de moût est chauffée, du côté interne, par la vapeur admise dans le premier cylindre, et, du côté externe, par la vapeur circulant dans une chemise métallique placée autour du deuxième cylindre.

Le séparateur est formé d'un simple cylindre vertical terminé à la base par une partie conique, et placé à une certaine hauteur au-dessus du premier évaporateur. Il communique, d'une part, directement avec l'éjecto-videur par une tubulure placée à la partie supérieure, ce qui évite l'entraînement de liquide, le niveau du moût ne dépassant pas le quart environ de la hauteur du séparateur, d'autre part, avec

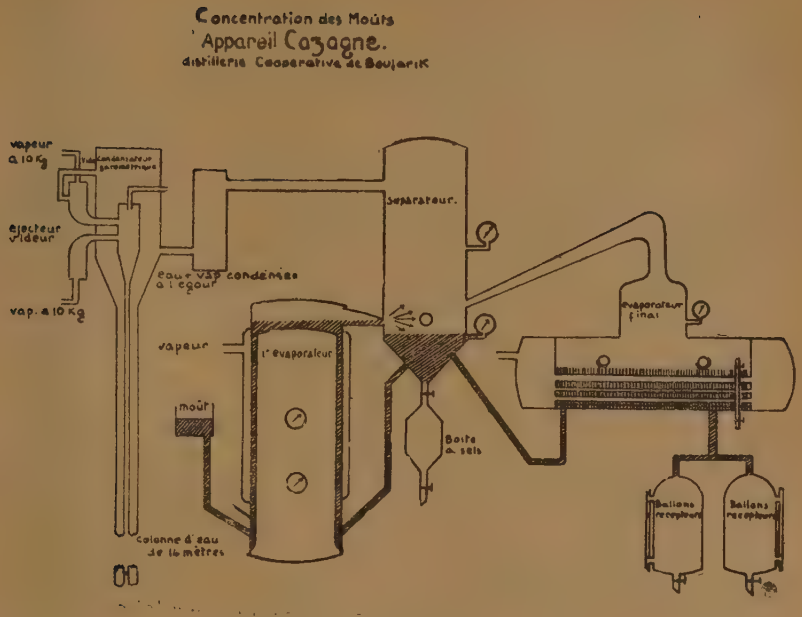


Fig. 1. Appareil Cazagne pour Concentration des moûts.

le premier évaporateur par deux tubulures dont la supérieure joue le rôle de déversoir.

L'évaporateur final se compose d'un cylindre horizontal surmonté d'une cloche communiquant avec le séparateur par une tubulure à vide. Aux deux extrémités se trouvent deux chambres d'admission de vapeur communiquant entre elles par des tubes de chauffage disposés jusqu'à mi-hauteur du cylindre. L'admission du moût à l'évaporateur final se fait par une tubulure communiquant avec le séparateur. La vidange est réalisée par l'intermédiaire de deux ballons récepteurs.

Les trois appareils sont munis des dispositifs de contrôle de marche, thermomètres et indicateurs de vide à cadran. Des regards en verre permettent d'examiner le liquide pendant le fonctionnement.

Fonctionnement de l'appareil. — Le moût placé dans un bac de charge est admis dans le premier évaporateur de façon à recouvrir le dôme du cylindre intérieur; puis, par la communication établie entre le premier évaporateur et le séparateur, il pénètre dans ce dernier jusqu'à un niveau inférieur au débouché du tube déversoir.

Sous l'influence de la chaleur et du vide, l'ébullition se produit dans l'évaporateur; le liquide est projeté en pluie dans le séparateur par le tube déversoir et effectue ainsi automatiquement le circuit séparateur-évaporateur en passant par le tube de communication T.

Ce dispositif présente les deux avantages essentiels suivants :

1° Dans le premier évaporateur, le moût étant réparti en faible épaisseur sur une grande surface arrive très rapidement à une température voisine de 38° prévue pour la concentration. La quantité de vapeur nécessaire pour obtenir et maintenir ce degré est alors relativement faible, ce qui permet d'éviter le goût de cuit.

2° La projection en pluie du moût dans le circuit-évaporateur-séparateur facilite considérablement la concentration du liquide par le vide.

Lorsque le moût est arrivé à une concentration d'environ 26° Baumé, il est envoyé à l'évaporateur final par la canalisation T'. Ce dernier appareil est rempli jusqu'au niveau des tubes de chauffage et la concentration est poussée jusqu'au degré Baumé final.

Le moût concentré est ensuite reçu dans des ballons de réception d'où il est extrait et renvoyé aux cuves de conservation en métal émaillé après avoir subi une filtration à travers un filtre à toiles genre Simoneton.

Quelques chiffres sur la concentration par l'appareil Cazagne

L'appareil Cazagne installé à la Distillerie Coopérative de Boufarik est revenu à environ 300.000 francs dont 75.000 francs d'argenture. Ce prix relativement élevé comprend de nombreux accessoires prévus dans la première installation et qui ont été considérés par la suite comme inutiles.

La quantité de vapeur consommée est d'environ 100 kilos par hectolitre de moût concentré. La quantité d'eau nécessaire au fonctionnement de l'appareil est assez élevée : elle atteint 48 à 50 mètres cubes par heure.

La quantité de moût pouvant être traitée en vingt-quatre heures dépend de sa concentration initiale, elle peut être évaluée à 250 hectolitres, qui sont réduits à environ 60 hectolitres après concentration, soit environ 4 hectolitres de moût frais pour 1 hectolitre de moût concentré.

Le prix de revient de l'opération, établi par M. Nemoz, est d'environ 8 francs par hectolitre de moût à 10° Baumé à concentrer à 36° Baumé, soit 40 francs par hectolitre de concentré.

Observations sur les essais. — Les moûts utilisés aux essais de concentration sont des moûts de divers cépages de la région de Boufarik, de richesse en sucre normale allant de 12° à 13° Baumé pour les rouges et de 10° à 11° Baumé pour les blancs. L'acidité, assez élevée, est comprise entre 5 et 6 grammes par litre.

La plupart de ces moûts ont été conservés à l'aide d'anhydride sulfureux à des doses variant entre 130 et 150 grammes par hectolitre.

Quelques essais ont été réalisés sur des moûts frais débourbés par le froid à l'aide d'un appareil frigorifique de marque S.C.A.M. Follain, d'un type tout nouveau, qui a été également utilisé pour provoquer une désacidification dans les moûts et dont le fonctionnement sera repris en fin de ce compte rendu.

En général, le degré de concentration qui a donné les meilleurs résultats est aux environs de 36° Baumé. Au-dessous, le produit est instable et a tendance à fermenter.

Les moûts concentrés à 36° Baumé renferment environ 800 grammes de sucre par litre et titrent de 7 à 21 grammes d'acidité, suivant qu'ils ont été traités par le froid avant concentration, ou désacidifiés partiellement par le carbonate de chaux.

Dans un but d'expérience, la concentration de certains moûts a été poussée à 40° et 42° Baumé. Les moûts ainsi traités perdent leur consistance sirupeuse et, au bout d'un certain temps, ils se prennent en masse plus ou moins pâteuse par cristallisation. Certains échantillons de moût blanc ainsi obtenus ont l'apparence et la consistance de miel. Leur goût rappelle d'ailleurs celui d'un miel à parfum peu prononcé.

Qualité des produits. — Les produits obtenus à la Coopérative de Boufarik se présentent avec une belle couleur rouge violacé ou jaune clair suivant les cépages. Leur goût est franc, avec un parfum très net plus ou moins prononcé rappelant leur origine; les moûts de muscat, en particulier, rappellent exactement leur origine. Contrairement à ce qui avait été constaté aux essais de Montpellier, on ne perçoit ni goût de confiture, ni goût de cuit.

Ces qualités sont dues à ce que la concentration se fait à des températures inférieures ou voisines de 40° (au cours de cette visite, la température de 38° a été constatée dans l'appareil en fonctionnement). La disposition de l'appareil permet en effet de réaliser ces températures basses qui se rapprochent de celles subies par le raisin pendant sa maturation et qui par suite ne présentent aucun danger de caramélisation.

En ce qui concerne l'anhydride sulfureux des moûts sulfités, la concentration ne suffit pas à l'éliminer entièrement. D'après une ana-

Analyses de 10 échantillons de moût concentré obtenus à la Distillerie Coopérative de Boufarik avec l'appareil Cazagne

(Analyses faites au Laboratoire de la Faculté des Sciences d'Alger)

	Cinsault 1	Cinsault 2	Rosé Clairette Cinsault 3	Clairette filtrée 4	Blanc non muté 5	Muscat 6	Blanc 7	Blanc non muté 8	Clairette 9	Cinsault 10
Degré Baumé.....	39	40.7	40.7	36	37	37	42.5	37	31.5	36
Densité.....	1340	1388	1388	1290	1353	1364	1415	1344	1291	1326
Sucres par kilo.....	642	702	725	565	692	682	757	650	555	653
— par litre.....	860	975	1006	728	932	931	1062	875	717	872
Acidité par kilo.....	4.65	5.02	6.25	7.6	2.85	10.02	8.85	2.9	7.1	15.8
— par litre.....	6.32	6.96	8.67	9.8	3.85	13.7	12.5	3.9	9.2	21
Extrait par kilo.....	687	767	743	593	700	708	770	681	563	668
— par litre.....	920	1064	1031	765	945	970	1085	918	728	885
Cendres par kilo.....	6	8	8.2	5	6.3	4.1	5.6	5 8	3.7	4.8
— par litre.....	8.03	11.3	11.4	6.45	8.6	5.7	7.87	7.8	4.8	6.4
Alcalinité cendres par kilo...	7 9	8.6	2.8	2.35	10.9	7.05	8.3	8.05	9.45	11.02
— — par litre...	10.5	11.9	3.89	3	14.7	9.7	11.6	10.8	11.8	11.6
SO^2 tot. par kilo....	0.145			0.787						
SO^2 libre —	»									

lyse relevée à la Distillerie Coopérative, un moût de Cinsault qui titrait à l'origine 12°4 Baumé et 195 grammes d'anhydride total par hectolitre a donné après concentration à 37°8 Baumé un produit contenant encore 115 grammes d'anhydride par hectolitre.

Des analyses effectuées au Laboratoire de Technologie à Tunis sur quelques échantillons de concentrés rapportés de Boufarik ont donné les résultats suivants :

Moûts	Acidité par litre	Anhydride libre par litre	Anhydride total par litre
1. Concentré rouge	13 gr.	150 milligr.	950 milligr.
2. Concentré (producteur direct)	12 00	100 —	1.050 —
3. Concentré blanc (clairette)	13 04	40 —	560 —
4. Concentré muscat	11 02	20 —	120 —

Stades de transformation d'un même moût

	Moût nature	Moût concentré		Résidu du filtre
		non filtré	filtré	
Densité	1104	1358	1356	
Sucre	193 gr.	589 gr.	607 gr.	272 gr.
Glucose	100	299	312	142
Lévulose	93	290	295	130
Rapport $\frac{\text{Glucose}}{\text{Lévulose}}$	1.07	1.04	1.06	1.1
Acidité	6.5	12.7	11.7	
SO^2 total	1.5	1.47	1.41	
SO^2 libre	0.576	0.048	0.32	
Tartre par kilo				572 gr.
Cendres par kilo	1.9	3.72	3.7	
Alcalinité cendres	3.76	1.88	1.41	

Ces résultats démontrent que le vide est insuffisant pour détruire complètement la combinaison de l'anhydride sulfureux avec les ma-

tières colorantes et les substances à réaction aldéhydique et notamment avec les sucres. Pour obtenir une désulfitation plus complète, il serait nécessaire de concentrer à des températures plus élevées, ce qui nuirait à la qualité du produit.

Le goût d'anhydride du concentré est masqué par la présence du sucre et ne se manifeste d'ailleurs d'une façon nette que pour les palais exercés et avertis.

Ce goût ne présenterait d'ailleurs d'inconvénient à la vente que dans le cas de consommation directe dans des moûts concentrés sous forme de miel ou de confiture : cette production devant être relativement limitée, il serait alors possible de la réaliser pendant la période des vendanges, au cours de laquelle les moûts seraient concentrés frais sans avoir subi de sulfitage.

L'acidité des moûts concentrés obtenus à Boufarik est beaucoup mions élevée que celle des produits obtenus à Montpellier. Les concentrés traités après neutralisation partielle ont une acidité de 3 à 4 grammes par litre et les produits naturels de 11 et 18 grammes au maximum. Ces chiffres relativement faibles, étant donné les acidités initiales assez élevées des moûts primitifs (5 à 6 grammes par litre correspondant à 20 et 24 grammes après concentration), sont dus à l'influence du refoidissement auquel sont soumis les moûts avant concentration.

Action du refroidissement à —2° sur les moûts avant concentration

	Acidité initiale	Acidité après réfrigér.
	—	—
Moût rouge.....	6,35	4,8
Moût blanc.....	5,7	4,2

La réduction de l'acidité est provoquée par la précipitation d'une partie du bitartrate, dont la solubilité diminue avec la température. D'autre part, il a été constaté que, pendant la concentration, une autre partie de bitartrate précipite également et c'est dans le but de le recueillir que le séparateur a été muni d'une boîte à sels à sa partie inférieure.

La conservation des moûts concentrés obtenus à Boufarik paraît se faire dans de bonnes conditions.

Les moûts à 36° Baumé restent stables, clairs et brillants; des essais de traitement de ces moûts à 0° pendant quarante-huit heures n'ont laissé percevoir aucun changement dans la tenue du liquide.

Il n'a été constaté aucune trace de fermentation sur une quantité s'élevant à 800 hectos.

A partir de 37° Baumé, les produits ont tendance à cristalliser, et la cristallisation est d'autant plus rapide et plus complète que le moût est plus concentré.

Certains moûts concentrés à 42° Baumé se présentent sous la forme de miel cristallisé. Un essai de concentration, fait au-dessus de 42° Baumé, a donné une masse solide ayant la consistance de la pâte de berlingot.

La bonne tenue des moûts concentrés à 36° Baumé dépendrait, d'après M. Nemoz, de la teneur en acidité, qui ne devrait pas dépasser 18 grammes par litre. Cette hypothèse semble confirmée par les résultats obtenus à Montpellier, où les moûts possédant une acidité supérieure (21 à 25 grammes par litre) entraient en cristallisation.

Utilisation et débouchés possibles du concentré de raisin

M. Nemoz, qui a déjà réalisé un certain nombre d'expéditions de concentré dans un but d'essai de propagande, entrevoit d'abord comme débouché principal l'utilisation des concentrés à la fabrication du vin dans les pays où la vigne n'existe pas et où les vins ordinaires se vendent cher tout en étant de qualité inférieure.

Les pays susceptibles d'être intéressés par ce produit sont surtout les colonies qui, d'après les renseignements recueillis par M. Nemoz, ne consomment qu'une quantité insignifiante de vin tant en raison de sa mauvaise qualité que de son prix élevé. Dans le même ordre d'idées, il y a lieu de penser que divers pays, tels que l'Angleterre, l'Allemagne, la Pologne, la Finlande, seraient également susceptibles d'être intéressés par les concentrés.

Les principaux avantages résultant de l'emploi des concentrés seraient pour ces régions, d'une part, la réduction importante des frais de transport, ceux-ci n'intéressant plus que le quart de la matière d'origine, d'autre part la possibilité de présenter à la clientèle, après fermentation sur place, des vins de bonne qualité n'ayant pas eu à courir les aléas du transport.

La transformation du concentré en vin ne présente aucune difficulté : il suffit simplement de lui redonner une quantité d'eau correspondant au degré alcoolique que l'on veut obtenir et d'ajouter un pied de cuve de levures pures.

Quelques essais de fermentation ont été réalisés à Boufarik; le vin obtenu présente toutes les qualités d'un vin normal provenant d'un moût ordinaire et sans goût particulier susceptible de rappeler son origine.

Un échantillon, rapporté à Tunis et présenté à divers dégustateurs qualifiés, a été reconnu d'excellente qualité.

L'utilisation du concentré pour la chaptalisation des vins ne paraît pas devoir présenter un intérêt primordial par suite des nombreuses difficultés résultant du décret du 1er août 1931. Quant à la différence de qualité constatée aux essais de Montpellier entre les vins chaptalisés au sucre et au moût concentré, elle paraît due surtout à la qualité inférieure de ces derniers. Il est à présumer qu'une chaptalisation faite avec du concentré sans défaut aurait donné des produits irréprochables, ce qui paraît d'ailleurs confirmé par la qualité des vins obtenus après fermentation du concentré.

Parmi les autres débouchés susceptibles d'être offerts au concentré de raisin, il y a lieu de signaler certaines industries de consommation telles que la pâtisserie, la confiserie et en outre l'utilisation directe comme boisson au sirop de raisin, notamment dans les pays musulmans.

D'après M. Nemoz, ces débouchés ne présenteraient qu'une importance secondaire; néanmoins, ils seraient susceptibles d'un certain intérêt puisqu'il évalue à 500.000 hectolitres de moût frais la consommation qui serait envisagée par la confiserie et la pâtisserie.

Conclusions

Les conclusions qui se dégagent de cette étude concernent, d'une part, la partie technique et, d'autre part, la partie économique de l'industrie des moûts concentrés.

En ce qui concerne la partie technique, celle-ci semble être au point. Les concentrés obtenus à l'aide de l'appareil Cazagne sont exempts de goût de cuit, gardent leur parfum et leur couleur naturelle. La bonne tenue de ces produits à la conservation paraît dépendre de deux points : le degré de concentration, qui doit être maintenu aux environs de 36° Baumé, et l'acidité, qui doit être inférieure à 18 grammes par litre.

La quantité élevée d'anhydride restant dans les produits ne présente d'inconvénients que pour les concentrés de consommation directe; ceux-ci, qui ne représentent qu'une faible partie de la fabrication, pourraient alors être obtenus par le traitement direct des moûts frais. Quant à l'anhydride des concentrés destinés à la fermentation, sa proportion se réduit considérablement du fait de la dilution nécessaire et d'autre part sa présence est une garantie de bonne fermentation. D'ailleurs, il y a lieu de considérer que, pendant la transformation du moût en vin, ce produit disparaît en grande partie.

En ce qui concerne la partie économique, l'écoulement des concen-

trés est encore à l'état embryonnaire. La vente dépend surtout de la propagande à faire dans les pays qui peuvent être intéressés par cette production.

M. Nemoz, qui dispose actuellement d'un stock d'environ 800 hectolitres de concentré, s'est déjà occupé activement de cette question et a obtenu quelques résultats. Néanmoins, les moyens dont il dispose à ce sujet sont assez réduits et il ne peut donner à la propagande l'ampleur qu'elle devrait avoir.

***

Pour terminer ce compte rendu et répondre au but de cette Mission, il y a lieu d'indiquer que, la technique des concentrés étant résolue, l'étude expérimentale de ces produits en Tunisie ne se pose plus. Il est d'ailleurs probable que les moûts de nos régions se comporteraient au moins aussi bien que les moûts de Boufarik étant donné que leur degré de sucre est aussi élevé et que leur acidité est plus faible et ne dépasse guère 4 grammes par litre. Il suffit à l'heure actuelle de maintenir un contact étroit avec l'organisation de Boufarik, qui doit poursuivre les essais sur divers produits autres que le moût de raisin, tels que oranges, citrons, etc... Le point de vue économique présente une importance plus grande; l'installation d'usines de concentration en Tunisie dépend uniquement des débouchés possibles; la question est par suite d'ordre commercial; elle pourrait être suivie en collaboration avec la Coopérative de Boufarik, qui dispose d'un stock disponible de produits susceptibles d'être présentés sur les divers marchés à titre d'échantillons.

Installation frigorifique annexée a la concentration des mouts a la Coopérative de Distillerie de Boufarik

L'appareil frigorifique utilisé à la Coopérative de Boufarik est d'un type nouveau et a été installé par la firme S.C.A.M. Follain (*fig 2*).

Contrairement aux appareils usuels à affinité ou à compression utilisant un agent frigorifique volatil : ammoniaque, anhydride sulfureux, l'appareil S.C.A.M. Follain effectue la réfrigération simplement par action du vide sur le liquide à réfrigérer. Il se compose d'un évaporateur et d'un condenseur, entre lesquels sont disposés les appareils éjecteurs à vide.

L'évaporateur est muni de trois plateaux dont une partie est perforée et munie d'un entonnoir renversé. Il communique à la partie supérieure avec le liquide à refroidir, qui peut être une saumure ou simplement de l'eau ou encore dans le cas qui nous occupe du moût de raisin. A la partie inférieure, l'appareil est prolongé par un tube

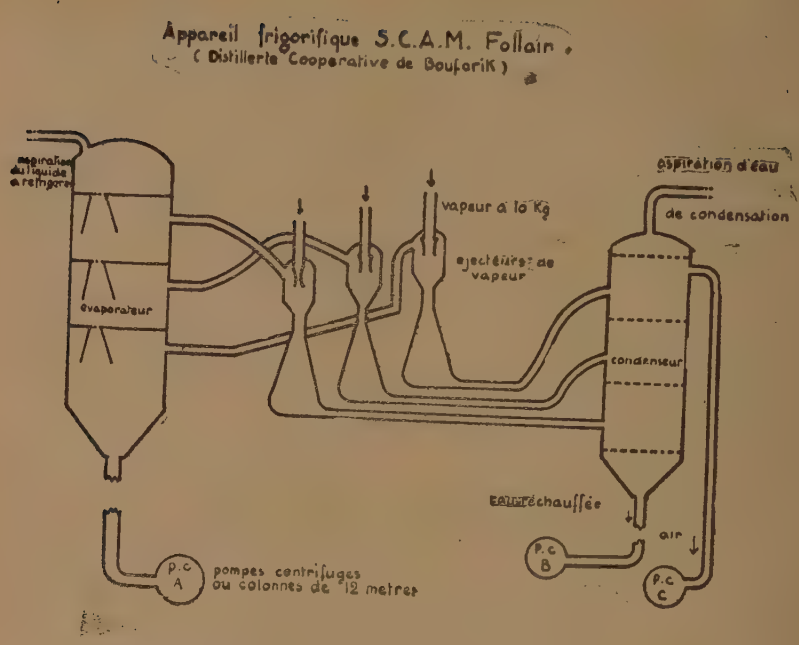


fig. 2. Appareil frigorifique S.C.A.M. Follain.

de 12 mètres formant colonne barométrique, qui peut être remplacé, le cas échéant, par une pompe centrifuge.

Le condenseur est également divisé en chambres par les cloisons perforées destinées à répartir en pluie l'eau servant à la condensation et qui est aspirée à la partie supérieure de la colonne. Comme dans l'évaporateur, la partie inférieure du condenseur est prolongée par un tube de 12 mètres — qui peut être remplacé par une pompe centrifuge — dont le tube prend naissance à la partie supérieure de la colonne, aspire l'air contenu dans le condenseur.

L'appareil à vide proprement dit est placé entre les deux colonnes, il est constitué par un tube éjecteur qui projette la vapeur dans une tuyère, et celle-ci la conduit au condenseur.

Fonctionnement de l'appareil. — Le liquide à refroidir, saumure, eau ou moût, est aspiré par le tube de l'évaporateur et distribué en pluie pour accroître la surface d'évaporation. Sous cette action, le liquide est soumis à une évaporation partielle sous un vide légère-

ment supérieur à celui correspondant à la pression barométrique diminuée de la tension de vapeur d'eau correspondant à la température finale du liquide à refroidir.

Ce vide est créé par éjection et détente de vapeur venant d'un générateur. La chaleur disponible de cette vapeur est ainsi transformée en force vive et le jet de vapeur, lancé à une vitesse de l'ordre d'un kilomètre par seconde, aspire et entraîne la vapeur formée dans l'évaporateur. Le mélange de vapeur motrice et de vapeur entraînée se comprime dans le diffuseur de l'éjecteur et débouche dans le condenseur. Une pompe centrifuge A extrait le liquide refroidi. Une pompe B extrait du condenseur l'eau réchauffée et une pompe C extrait l'air du condenseur.

Cet appareil présente des avantages sérieux sur les appareils actuellement en usage dans l'industrie frigorifique. Sa simplicité et l'absence de mouvement mécanique le mettent à la portée de toutes les mains. Agissant sur le liquide à refroidir, il permet de simplifier considérablement l'installation.

Sous l'action de la réfrigération pratiquée dans ces conditions, les moûts traités subissent une légère concentration et une désulfitation en même temps qu'il se produit une désacidification par précipitation de tartre, ainsi que le montre l'analyse suivante :

Réfrigération de mout

	Avant réfrigération	Après réfrigération
Degré Baumé	13° 1	13° 9
Acidité	6,35	4,8
SO^2 total	103	74,1
Température	14° 7	2°

Un moût de clairette a donné les résultats suivants :

Degré Baumé initial	10°
Acidité	5 gr. 7
Température	15°

A la sortie de l'appareil frigorifique :

Degré Baumé	10°7
Acidité	5 gr. 1
Température	2°

Le moût refroidi à 2° est alors envoyé dans deux bacs en métal émaillé placés dans une chambre à parois isolantes. Au bout de douze heures, l'acidité se répartit de la façon suivante à l'intérieur des bacs :

	Premier bac	Deuxième bac
	—	—
Partie supérieure.....	4,35	4,2
Partie moyenne.....	4,5	5,05
Partie basse.....	4,6	4,6

Au bout de vingt-quatre heures, le dépôt de bitartrate étant terminé, l'acidité du bac N° 1 est de 4,35 et celle du bac n° 2 atteint 4,2.

Cet appareil peut donc être considéré comme un accessoire indispensable de la concentration des moûts, permettant, en premier lieu, d'abaisser l'acidité des moûts en traitant au degré normal nécessaire à la bonne tenue des concentrés et, en second lieu, de conserver et débourber les moûts frais destinés à être traités sans anhydride sulfureux.

Tunis, le 1er mars 1932.

(*Laboratoire de Technologie agricole de l'Ecole Coloniale d'Agriculture.*)

H. SOULMAGNON

L'UTILISATION, COMME INSECTICIDE, DES HUILES D'OLIVE

en Emulsion aqueuse

M. Balachowsky a proposé l'emploi, en substitution aux huiles minérales, dites « huiles blanches », de l'huile d'olive. Il conseille (communication à l'Académie d'Agriculture du 17 juin 1931) de faire dissoudre 1.500 grammes de savon de Marseille dans 7 litres d'eau, d'y verser l'huile en agitant énergiquement, puis de diluer au degré convenable.

Nous nous sommes proposé, M. Pagliano et moi, d'améliorer, s'il était possible, cette méthode d'émulsion et d'étudier ensuite son utilisation au traitement curatif de diverses formes de parasitisme; mon collègue Pagliano se chargeant de la seconde partie, moi-même assumant la première; ce sont les résultats de ce travail personnel que je présente dans cette note.

La formule proposée par Balachowsky entraîne quelques difficultés de préparation : s'il est assez facile, quoique un peu long, de préparer une eau savonneuse à 1/5e, il est pratiquement difficile d'émulsionner l'huile végétale dans cette eau savonneuse. Il faut une agitation énergique et prolongée et l'émulsion préparée n'est pas toujours d'une stabilité suffisante. Les eaux « dures », calcaires et magnésiennes, donnent avec le savon des grumeaux, par précipitation d'oléate de calcium (ou de magnésium) insoluble.

Nous avons cru devoir reprendre complètement l'étude du problème, qui consiste à trouver à l'huile végétale un support.

Les dissolvants, cependant très nombreux : Sulfure de carbone, Ethylène trichloré, Benzine, essence et éthers de pétrole, Tétrachlorure de carbone, Ether sulfurique, Chloroforme, etc.. ont tous été écartés. Certes, ils présentent les avantages de donner un mélange parfait indéfiniment stable, d'être tous volatiles, donc de disparaître rapidement en laissant l'huile sur la feuille et les parasites; la plupart possèdent par eux-mêmes un pouvoir insecticide élevé; mais tous sont d'un prix rendant le traitement, comportant l'utilisation de 5 à 10 litres de liquide par arbre, trop onéreux; la plupart enfin altéreraient très gravement les tissus végétaux au contact desquels on les placerait.

La seule solution qui nous est apparue comme possible consiste dans l'emploi d'émulsions aqueuses.

Recherche d'une substance émulsionnante

Nos tentatives ont été dirigées dans deux sens différents : 1° utilisation d'acides sulfo-conjugués aromatiques; 2° utilisation des sels alcalins d'acides gras.

A) *Utilisation d'acides sulfo-conjugués aromatiques comme substances émulsionnantes :*

Le procédé n'est pas nouveau : il est employé quelquefois dans les industries des corps gras.

Nos essais ont porté sur les *acides Benzène-sulfonique* et sur les *acides Naphtalène-sulfonique*. Ces réactifs, que nous n'avons pas trouvés ici dans le commerce, ont été préparés par nos soins. Il est superflu d'insister sur la technique de cette préparation, qui est classique. Nous n'avons pas d'ailleurs pris la peine de les obtenir à l'état de pureté : l'excès de Benzène ou de Naphtalène n'étant pas gênant pour la suite des opérations.

Ces acides à la fois solubles dans les huiles et dans l'eau, et agissant sur l'huile comme catalyseurs d'hydrolyse, donnent de très bonnes émulsions concentrées à 10, 15 ou 20 % d'huile qui possèdent une stabilité, dans quelques cas, très prolongée et, dans tous les autres, très suffisante. Le produit se présente comme une crème assez fluide.

Nous avons songé à y introduire des carbures saturés tels que Pétroles, Gaz-Oils, Mazout, dont les bas prix, l'action insecticide connue, rendent l'emploi intéressant.

Nous avons également, en utilisant les acides sulfo-conjugués, essayé d'obtenir des émulsions où le Pétrole et le Mazout entreraient seuls en l'absence d'huile.

Les émulsions concentrées obtenues, quoique ayant moins de stabilité que celles provenant de l'huile seule, étaient encore satisfaisantes.

Mais ces émulsions doivent, pour l'emploi, être diluées jusqu'à ne contenir que de 0,5 à 2 % de substances utiles. Cette dilution rompt l'état d'équilibre instable que constitue l'émulsion, peut-être parce que le coefficient de partage de la substance émulsionnante est tout en faveur de l'eau. En présence d'une quantité d'eau de 98 à 99 %, les molécules d'huiles ou de pétroles obéissent aux différences de densité et gagnent la surface en quelques minutes. L'émulsion ne pourrait être maintenue qu'au prix soit d'un renforcement de la

quantité de matières émulsionnantes, soit de l'addition de substances stabilisantes à grande viscosité : gommes, gels de silice, etc.; le prix de revient en serait accru; ou encore au prix d'une agitation continue, ce qui conduirait à l'emploi d'appareils de pulvérisation coûteux et compliqués.

Il est cependant à noter que les émulsions d'huile d'olive seule sont un peu plus stables que celles du mélange huile-pétrole ou du pétrole seul. Cela est d'ailleurs en accord avec les données théoriques connues concernant la relation qui unit les poids moléculaires et les vitesses de déplacement des molécules.

B) *Utilisation des sels alcalins d'acides gras :*

L'émulsion des corps gras en milieu faiblement basique est un fait bien connu. Le milieu alcalin peut être obtenu de substances chimiques diverses. Balachowsky a utilisé les sels de sodium d'acides gras (savon du commerce).

L'émulsion est lente et imparfaite parce que les contacts entre l'huile et le liquide savonneux sont réduits aux surfaces peu importantes créées par l'agitation mécanique. Il nous a semblé que le même résultat serait plus vite et plus parfaitement atteint *en créant le savon au sein même de l'huile*. Les surfaces de contact entre les deux substances, savon et huile, sont alors portées au maximum possible : celles des surfaces moléculaires, ou tout au moins des surfaces des agrégats moléculaires, stables.

De premiers essais nous ayant donné satisfaction tant dans l'obtention d'une émulsion concentrée que lors de la dilution de cette émulsion pour l'emploi (tableau page 165), nous avons successivement étudié :

1° les diverses substances basiques qu'il est possible d'employer pour créer le savon;

2° l'emploi de divers échantillons d'huiles de qualités, d'acidités et de provenances diverses;

3° l'emploi de diverses eaux naturelles de provenances et de qualités également variables.

I. Diverses substances basiques a employer

Seuls sont solubles dans l'eau les savons alcalins, c'est-à-dire : de soude, de potasse et d'ammoniaque (pseudo-solution). La soude, la potasse et l'ammoniaque ont été essayées.

La potasse, et surtout la soude, donnent des émulsions concentrées qui durcissent et acquièrent une consistance qui va de celle d'une

crème épaisse à celle d'un savon un peu mou. L'ammoniaque donne des émulsions concentrées plus fluides et, peut être, moins stables... Mais cette différence dans la stabilité de la solution mère nous a paru négligeable : la moindre agitation rend à nouveau la masse homogène.

Les émulsions diluées, obtenues en partant des précédentes (les autres facteurs : nature de l'huile et de l'eau, étant supposés donner satisfaction), sont d'une obtention extrêmement simple et possèdent une stabilité très suffisante : un commencement de séparation ne s'amorce qu'au bout d'un temps variant entre 10 et 30 minutes, le liquide étant parfaitement immobile; et après 48 heures une émulsion, qui était primitivement à 2 % d'huile, gardait encore, dans les parties les plus basses du récipient, plus de 1 % de matière grasse.

Les différences entre la soude, la potasse et l'ammoniaque sont peu marquées : la couche supérieure qui se sépare est, dans le cas des deux premières, normalement formée par une émulsion plus concentrée que celle de la couche inférieure, tandis que, dans le cas de l'ammoniaque, c'est plutôt de l'huile libre qui se sépare.

Comme conséquence de cette étude, nous avons décidé de choisir l'ammoniaque comme matière émulsionnante. Elle se trouve facilement partout; elle n'est pas beaucoup plus chère que la soude ou la potasse; ce n'est qu'une base faible, de causticité nulle en solutions diluées, alors que les deux autres bases restent fortement caustiques; la volatilité de l'ammoniaque est une assurance supplémentaire contre le danger de trop fortes concentrations, puisqu'elle assure le départ des quantités en excès; enfin, cette ammoniaque étant un aliment de la plante, pouvant être directement utilisé par les cellules de la feuille, nous avons cru voir là un argument de plus en faveur de notre choix.

Notre méthode, l'ammoniaque étant la substance émulsionnante, possède sur la méthode de Balachowsky cette supériorité de donner des solutions de basicité et par conséquent de causticité *constante* et *connue;* tandis que les solutions obtenues en partant des savons du commerce ont une causticité très variable : certains savons sont très caustiques, d'autres très peu, soit qu'ils gardent plus ou moins de lessive inemployée, soit que le fabricant ait procédé à des additions diverses : silicate de soude, carbonate de soude, saponine, etc., dans le but d'alléger son prix de revient, ou dans un autre but.

II. Etude des diverses qualités d'huiles

Nos premiers essais ont porté sur un échantillon d'huile d'enfer dû, ainsi que la plupart des autres échantillons étudiés, à l'obli-

ESSAI 1	ESSAI 2	ESSAI 3
Huile d'enfer acidité 10 %.	Huile d'enfer acidité 10 %.	Huile d'enfer acidité 10 %.
huile 100cc	huile 100cc	huile 100cc
eau 100cc	eau 100cc	eau 100cc
ammoniaque 20cc	lessive de soude à 40 % 20cc.	lessive de potasse caustique à 40 % 20cc
agitation 1'	agitation 1'	agitation 1'
Emulsion parfaite	Emulsion parfaite	Emulsion parfaite
Après 24 heures : un peu d'huile en surface, se réémulsionne à la moindre agitation.	Après 24 heures : émulsion satisfaisante.	Après 24 heures : un peu d'huile en surface, se réémulsionne à la moindre agitation.
Après 8 jours : même observation.	Après 8 jours : consistance d'une crème épaisse.	Après 8 jours : même observation.
Dilué 10 fois.	Dilué 10 fois.	Dilué 10 fois.
Après 10' : émulsion parfaite.	Après 10' : émulsion parfaite.	Après 10' : légère séparation d'huile.
Après 15' : un peu d'huile en surface.	Après 15' : un peu d'huile en surface.	Après 15' : même observation.
Après 48 heures : l'émulsion garde 55 % d'huile.	Après 48 heures : l'émulsion garde 60 % d'huile.	Après 48 heures : l'émulsion garde 45 % d'huile.

geance de notre collègue M. Rousseau. Le bon de livraison était rédigé de la façon suivante : « Bon pour 10 litres d'huile invendable ». Cela indique suffisamment quelle était la qualité du produit. L'huile était claire, d'odeur très forte et d'acidité supérieure à 10 %. L'émulsion était réalisée en moins d'une minute et au prix d'une agitation très faible.

C'est sur cette huile qu'ont été étudiés les divers échantillons d'eau.

De l'étude d'environ 200 émulsions faites avec 15 échantillons d'huiles différentes, nous pouvons conclure ceci :

L'émulsion est d'autant plus facile que l'huile est plus acide, c'est-à-dire de plus mauvaise qualité pour la consommation.

Les huiles de consommation exigent une agitation un peu longue, et il est recommandable de préparer l'émulsion mère quatre ou cinq jours avant l'emploi. C'est cette solution que nous avons dû adopter en particulier :

pour une huile de première pression, centrifugée et d'acidité 0,3;

pour une huile de 2e pression également centrifugée et d'acidité 0,9;

pour une huile de 2e pression d'acidité 1,2.

A partir de 5 % d'acidité, l'émulsion est pratiquement instantanée.

Pour une seule huile, l'émulsion n'a pu être obtenue par l'un d'entre nous. Il s'agissait d'un liquide de consistance pâteuse, de couleur noirâtre, probablement des boues de fond de pile plutôt qu'à proprement parler de l'huile. Aucun échantillon n'ayant été rapporté à Tunis, nous ne pouvons à ce sujet émettre que des hypothèses; mais cet échec nous a incité à étudier des échantillons plus variés et à examiner en particulier si l'oxydation, conséquence d'une longue conservation, ne constituerait pas une circonstance gênante.

Les échantillons suivants nous ont tous donné une émulsion instantanée :

huile de grignons provenant du domaine de l'Enfida— récolte 1927-1928 — acidité originelle : 9,2; actuelle : 15; coloration noirâtre;

huile de grignons brute (sulfure de carbone) âgée probablement de deux ans, coloration vert foncé;

huile d'enfer 1929 provenant de Sfax — acidité 11;

huile de grignons de la Franco-Tunisienne — acidité 35, âge indéterminé, coloration foncée — dépôt très abondant.

III. Influence de la qualité de l'eau

Tous les auteurs qui se sont proposé l'émulsion d'huile à l'aide

d'eau savonneuse ou, d'une façon plus générale, l'emploi, quel qu'en soit le but, de savon en solution dans l'eau, ont insisté sur l'importance du choix de l'eau, recommandant de n'utiliser que de l'eau de pluie ou à défaut une eau très douce; de rejeter les eaux dures, calcaires, séliniteuses, magnésiennes ou autres.

En présence de sels alcalino-terreux ou magnésiens, il se forme des grumeaux insolubles de savons calciques ou magnésiens qui obstruent les gicleurs et qui doivent, par leur formation même, faire perdre au liquide son pouvoir émulsionnant.

Nos recherches nous ont démontré que l'on obtient une bonne émulsion avec l'eau de pluie, qu'elle est encore excellente avec une eau potable courante telle que celle des conduites de Tunis qui, avec un degré hydrotimétrique voisin de 35, donnent 500 milligrammes d'extrait sec, dont environ 350 de sulfates de calcium et de magnésium par litre. C'est une eau un peu lourde, un peu dure; elle convient cependant encore aussi parfaitement que de l'eau de pluie au but que nous nous étions proposé. Les grumeaux que peut donner l'eau de Zaghouan ne deviennent gênants que dans le cas où l'utilisation de l'émulsion ne suit pas immédiatement son emploi. Quelques minutes après la préparation, ils sont très petits, mous et en quelque sorte fluides, ils ne grossissent qu'avec le temps.

Une eau de puits de l'Ecole Coloniale d'Agriculture dont l'analyse suit :

23 février 1932 : Nacl	2g	504	par litre,
Co^3ca	0	380	—
SO^4Mg	0	506	—
CO^3Mg	0	276	—
degré hydrotimétrique		220,	

nous a donné une émulsion grumeleuse et très peu stable. L'emploi des « huiles blanches » se heurte d'ailleurs au même obstacle.

Comme les eaux calcaires nous avaient paru donner une émulsion plus stable que les eaux magnésiennes à même salure; comme, d'autre part, nous avions constaté que certains grumeaux gagnaient le fond alors que d'autres montaient en surface et que ces derniers entraînaient l'huile et rompaient rapidement l'émulsion, nous nous sommes livré à des recherches sur l'influence de la magnésie sur la stabilité de nos préparations. De ces recherches, faites en utilisant soit des eaux naturelles, soit des eaux à salure artificielle (obtenues en apportant à de l'eau distillée des quantités connues des divers sels de calcium et de magnésium), et en cherchant les constituants des grumeaux qui remontent à la surface et de ceux qui gagnent le

fond du récipient où la préparation a été obtenue, il résulte que les métaux se répartissent indifféremment entre les deux groupes de grumeaux : c'est l'huile qui, se fixant aux particules solides, les entraîne vers la surface. La seule présence qui rompt l'émulsion est celle des chlorures, quelle que soit l'association de l'acide chlorhydrique. Ceci nous a paru imputable au degré d'ionisation élevé des chlorures.

Formule proposée :

Huile d'olive lampante.....	1l 500
Ammoniaque.....	0l 125
Eau.....	100 litres

Si l'émulsion manque de stabilité, la quantité d'Ammoniaque peut être augmentée jusqu'à 0l 250.

Préparation. — Mettre l'huile, un égal volume d'eau et d'ammoniaque dans un récipient (bonbonne, tonnelet, etc.). Agiter une ou deux minutes. Diluer à 100 litres. Aucune précaution particulière n'est nécessaire.

Note. — La solution est à 1 %; l'excès d'huile est utilisé à la formation du savon ammoniacal et compense d'autre part la petite quantité qui peut se séparer en surface au cours de l'utilisation.

Tunis, le 12 novembre 1932.

(Laboratoire de Chimie de l'Ecole Coloniale d'Agriculture.)

H. SOULMAGNON

Professeur à l'Ecole Coloniale d'Agriculture de Tunis ;

CONSTANT

Chef de Travaux de Chimie au Laboratoire de la Répression des Fraudes, à Sfax ;

SCHEUR

Ingénieur E. C. A. T.

RECHERCHES

SUR LES

CHLORURES APPORTÉS AU SOL PAR L'ATMOSPHÈRE

(2me Mémoire)

L'un d'entre nous a, dans un précédent mémoire (*Ann. Serv. Botan. Tunisie*, 1929, tome VI), attiré l'attention sur l'origine atmosphérique du chlorure de sodium que contient le sol. Il a déterminé les quantités de sel apportées par les pluies au cours des années agricoles 1921-1922, 1922-1923, 1923-1924, 1924-1925.

Dans ce même mémoire, il faisait remarquer que l'eau de pluie n'était pas la seule voie d'apport : que les rosées et la chute naturelle des poussières atmosphériques devaient intervenir.

Il ajoutait :

« Les efforts des expérimentateurs échouèrent dans l'appréciation des apports par condensations dites occultes et par chute naturelle, cela pour des raisons diverses.

« Dans le premier cas, de nombreux chiffres furent obtenus, mais vraisemblablement souvent viciés par des causes diverses : formation d'oxyde de zinc réagissant sur le nitrate d'argent; absorption rapide, au Laboratoire, de vapeurs d'acide chlorhydrique ou de chlorure d'ammonium; cela malgré la variété des récipients ou des matières absorbantes utilisées : récipients en zinc, en verre, en porcelaine, noir animal, molleton, sables siliceux, etc...

« Dans le cas des chlorures apportés par chute naturelle, on a cherché à obtenir des renseignements en tentant d'évaluer la quantité

contenue en suspension dans un volume d'air mesuré et pris près de la surface du sol.

« Les expérimentateurs n'ont pu alors déceler la présence du chlorure dans l'air, et encore moins obtenir des chiffres, parce qu'ils n'ont pas tenu compte de ce fait qu'un corps solide en suspension dans l'air, ou un gaz, ne peut être absorbé par un liquide dans lequel on fait passer lentement le gaz ou l'air, qu'à la condition de posséder lui-même, à la température d'expérience, une tension de vapeur notable : ce qui n'est pas le cas pour le chlorure de sodium.

« Il aurait fallu utiliser la méthode par refroidissement et condensation, qui aurait créé un brouillard dans la masse d'air, brouillard englobant et entraînant les particules salines et permettant ainsi leur absorption.

« Les recherches faites dans ces deux dernières voies, si elles n'ont pas solutionné le problème, ont au moins permis de faire quelques intéressantes observations et d'avoir une idée approchée du résultat cherché. »

Nous avons repris ces recherches sans nous fixer pour but de chiffrer l'apport annuel par ces deux voies : cela présenterait des difficultés pratiquement insurmontables. Il est difficile de recueillir, sans en négliger une, toutes les rosées se produisant au cours d'une année et d'obtenir ainsi, pour les rosées, des tableaux comparables à ceux que l'un d'entre nous avait obtenus pour les pluies et qui figurent au premier mémoire; il est tout à fait impossible de déterminer, d'une façon précise, les apports par chute naturelle. Nous avons repris ces recherches avec le désir d'obtenir des chiffres qui, sans exprimer une quantité totale, démontreraient indiscutablement cet apport et même, s'il se pouvait, indiqueraient un ordre de grandeur.

Deux problèmes, avec des difficultés différentes et inégales, se posaient donc devant nous :

1° doser les chlorures contenus dans l'eau de rosée en évitant les obstacles signalés au premier mémoire;

2° mesurer, non pas la quantité de chlorures recueillis par une certaine surface du fait de la chute libre des poussières, ce qui nous a paru à la réflexion, puis après quelques essais, plein de difficultés, mais la quantité, contenue dans un certain volume d'air, au voisinage du sol.

I. Détermination des chlorures contenus dans les eaux de rosée

Voici la technique que nous avons suivie : le soir, quand l'état du ciel et l'état hygrométrique de l'atmosphère nous ont paru favora-

bles à la formation de la rosée, nous avons disposé, dans un champ portant une végétation herbacée courte, assez éloigné de toute habitation et de tout obstacle à la circulation de l'air et au rayonnement, une cuvette en verre peu profonde et dont les bords délimitaient exactement une surface de deux décimètres carrés, contenant 100 centimètres cubes d'eau bidistillée — cette cuvette était destinée à recueillir les chlorures entraînés par condensation de la vapeur d'eau. — Il est bien évident qu'elle recueillait en même temps ceux apportés par la chute naturelle des poussières, mais il ne nous a pas paru possible de séparer les deux facteurs. A côté de la cuvette, nous disposions une étoffe de laine épaisse, genre molleton, de coloration brun foncé, chargée d'absorber l'eau de rosée et d'en donner une mesure quantitative par différence de poids. Les deux appareils étaient retirés au matin dès le lever du soleil et il était procédé immédiatement aux pesées et dosages, pour éviter les influences perturbatrices signalées au premier mémoire.

Les chlorures étaient dosés comme dans les eaux de pluie, par la méthode volumétrique de Morh, par différence avec ce que donnait un essai à blanc sur le même volume d'eau distillée (le volume d'eau recueilli dans le récipient en verre était au matin généralement inférieur à 100 cc., l'évaporation nocturne l'emportant habituellement sur l'apport des rosées).

Ce sont les chiffres obtenus ainsi au cours des printemps 1924-1925-1926 qui figurent à la fin du mémoire.

Nous n'avons pu faire porter nos recherches sur toutes les rosées qui se sont manifestées au cours d'une année complète, comme nous l'avions fait pour les pluies; nous n'avons pu même le faire au cours des mois où nous avons expérimenté. Nos recherches en vue de fixer les idées sur le nombre de jours de rosée au cours de ces mois n'ont pas abouti malgré toute la bonne volonté apportée par M. Lacroux, Directeur du Service Météorologique de Tunisie, pour nous permettre de recueillir une documentation. Il ne saurait donc être question d'effectuer les sommes mensuelles pour nos périodes d'expérience, encore moins de donner un total annuel.

Les quelques chiffres que nous pouvons offrir, malgré leur caractère fragmentaire, malgré quelques imperfections de technique qui ne nous ont pas échappé, n'en présentent pas moins un réel intérêt.

II. Mesure des chlorures contenus dans l'air atmosphérique

Nous nous sommes attachés à réaliser les conditions expérimentales énoncées en 1930 au premier mémoire et citées ci-dessus : créer un brouillard dans la masse d'air, englobant et entraînant les parti-

cules salines et permettant ainsi leur absorption par une solution de nitrate d'argent de titre connu.

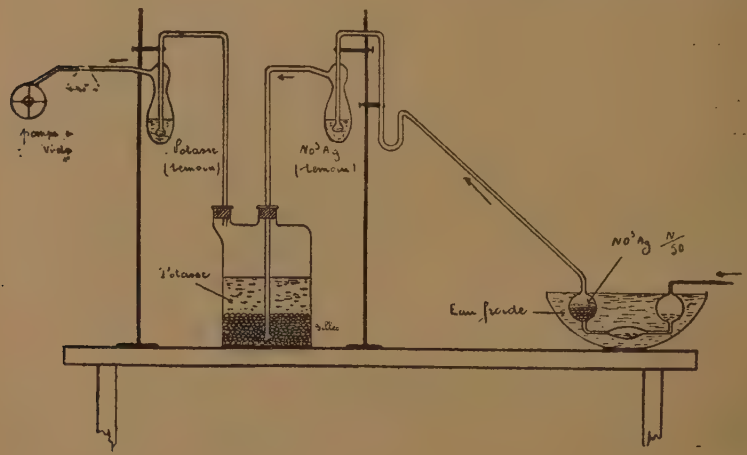
L'apparition du brouillard peut s'obtenir par détente qui réalise un refroidissement; on peut d'ailleurs aider à ce refroidissement en plongeant l'appareillage dans de la glace fondante ou un mélange frigorifique.

Il s'agissait, d'autre part, d'arriver à une mesure assez précise du volume de l'air ayant traversé la solution absorbante.

Nos premiers efforts se sont donné pour but cette dernière partie du problème : nous avons tout d'abord usé d'un récipient en tôle d'acier de contenance connue, muni d'un manomètre et d'un robinet au pointeau permettant l'échappement lent du gaz comprimé et la détente génératrice du brouillard; nous y comprimions l'air à l'aide d'une pompe à main nous permettant d'atteindre 8 à 9 kilogs. Malgré tous les soins apportés à rendre cet appareil parfaitement étanche, nous n'y sommes pas parvenus : des fuites ont persisté, en particulier au manomètre.

Cet appareil abandonné, nous avons songé à mesurer le volume d'air par la quantité de gaz carbonique qu'il contient. L'air ayant passé dans la solution de nitrate d'argent traversait une solution de potasse caustique où l'on mesurait la quantité de gaz carbonique, avant et après expérience, par la méthode volumétrique de Henriet (1 mètre cube d'air étant supposé contenir 0 gr. 590 d'anhydride carbonique).

Nous sommes ainsi arrivés au montage de l'appareil dont le schéma suit.



Une pompe à vide commandée par un moteur électrique réalisait l'appel d'air — un tuyau de caoutchouc d'environ cinquante mètres reliait nos appareils d'absorption à la pompe; l'absorption se faisait ainsi à une distance suffisante du Laboratoire pour éviter l'influence des vapeurs d'acide chlorhydrique et de chlorure d'ammonium que l'atmosphère d'un laboratoire de chimie renferme toujours. D'autre part, l'aplatissement du tube de caoutchouc sous la pression extérieure constituait en quelque sorte un réglage automatique de l'appel d'air.

La prise d'air était faite par un tube très effilé. La très grande différence de diamètre du tube à l'entrée, puis par la suite, réalisait la détente désirée. L'absorption était, d'autre part, facilitée par le tube de Will et Warrentrap, où les élargissements des boules, les tubes de communication et les billes de verre réalisaient des détentes successives, des étirements des bulles gazeuses et des obstacles prolongeant le contact avec le nitrate d'argent; par ce fait aussi que le tube à trois boules était plongé dans de la glace fondante.

Un deuxième appareil, également plongé dans la glace fondante, avait été placé à la suite à titre de contrôle; il n'a jamais indiqué la persistance dans l'air de chlorures non absorbés.

Un appareil de contrôle de l'absorption de l'anhydride carbonique fut également adjoint après la première expérience, où les volumes d'air trouvés restent un peu sujets à caution.

Les résultats figurent ci-après dans un tableau faisant suite aux chiffres fournis par les rosées.

De l'examen des chiffres découlent les conclusions suivantes, en quelque sorte parallèles à celles obtenues dans le premier mémoire :

Il y a dans l'air d'autant plus de sel marin que la vitesse du vent est plus grande et que ce vent a une origine plus directement marine.

Un essai a donné un résultat nul : ce jour-là, l'état atmosphérique était caractérisé par des grains et des phénomènes orageux se suivant à intervalles assez rapprochés. L'orage est accompagné de variations brusques de la pression atmosphérique (crochet d'orage des baromètres enregistreurs). Ces variations, accompagnées ou suivies de condensations et de pluies, réalisent les conditions idéales d'un lessivage de l'atmosphère, la débarrassant de ses poussières salines. La recherche des chlorures a donc, ce jour-là, conduit à un résultat nul, et cela n'est pas pour surprendre.

Enfin, nous attirons à nouveau l'attention du lecteur sur la proximité des lieux d'expérience du rivage de la mer (12 km.) et du rivage (1 km.) d'une lagune salée.

1er juin 1933.

(*Laboratoire de Chimie de l'Ecole Coloniale d'Agriculture.*)

CHLORURES DANS LES ROSÉES

1924

Date	Rosée en millimètres	Vent		— Na Cl —	
		Force	Direction	0/00	à l'hect. en kgr.
2 Mars.....	0,1	calme	calme	0,0340	0,034
6 —	0,25	très faible	W. S. W.	0,0584	0.146
9 —	0,18	faible	S. W.	0,0452	0,08136
11 —	0,32	faible	N. E.	0,0840	0,2688
13 —	0,08	calme	calme	0,0217	0,01736
17 —	0,19	très faible	W.	0,0196	0,03724
20 —	0,43	faible	S.	0,0099	0,04257
23 —	0,21	très faible	S. S. W.	0,0177	0,03717
4 Avril.....	0,07	faible	W.	0,0191	0,01337
5 —	0,11	faible	S. W.	0,0166	0,01826
28 —	0,09	faible	S. W.	0,0222	0,01998
14 Mai.....	0,27	calme	calme	0,0570	0,1539
15 —	0,37	faible	S. W.	0,0324	0,1198
16 —	0,18	très faible	N.	0,1010	0,1818
17 —	0,66	faible	N. E.	0,1034	0,6824
18 —	0,48	très faible	N. N. E.	0,0999	0,47952
19 — (brouillard)	0,88	calme	calme	0,0753	0,66264

CHLORURES DANS LES ROSÉES

1925

Date	Rosée en millimètres	Vent		— Na Cl —	
		Force	Direction	0/00	à l'hect. en kgr.
1er Mars.....	0,12	faible	variable	0,0480	0,0576
2 —	0,33	faible	N. E.	0,0999	0,330
7 —	0,44	très faible	N.	0,0899	0,395
9 —	0,27	faible	variable	0,0706	0,170
22 —	0,09	faible	N. W.	0,0089	0 0080
23 —	0,08	faible	variable	0,0244	0,0215
28 —	0,17	très faible	W.	0,0091	0,0154
29 —	0,43	calme	calme	0,0678	0,2915
23 Avril.....	0,10	faible	N. E.	0,0998	0,0998
21 — (brouillard)	0,55	très faible	S. S. E.	0,0665	0,365
30 —	0,28	calme	calme	0,0108	0,0302
21 Mai.....	0,09	faible	N. W.	0,0077	0,00693
25 —	0,11	faible	S. S. W.	0,0091	0,01001
31 —	0,06	faible	E. N. E.	0,0100	0,006

CHLORURES DANS LES ROSÉES

1926

Date	Rosée en millimètres	Vent		— Na Cl —	
		Force	Direction	0/00	à l'hect. en kgr.
10 Mars	0,17	faible	N. W.	0,0091	0,0154
18 — (brouillard)	0,57	calme	calme	0,0096	0,0547
26 —	0,10	faible	N. E.	0,0823	0,0823
4 Avril.....	0,05	faible	N. N. E.	0,0846	0,0423
5 —	0,09	très faible	N. E.	0,0909	0,08181
28 —	0,21	faible	variable	0,0432	0,0907
7 Mai	0,15	faible	E. N. E.	0,0891	0,1336
16 —	0,08	très faible	variable	0,0124	0,00992
20 —	0,12	faible	N. N. E.	0,0608	0 0729
21 —	0,30	très faible	W. S. W.	0,0093	0,0279
22 —	0,09	très faible	N.	0,0222	0,01998

Dates	Direction du vent		Vitesse		Cl. Na fixé	Co^2 fixé	Volume d'air passé	Cl. Na par m^3	*Observations*
	Matin	Soir	Matin	Soir					
10/4/33	Nord-Est	Nord-Est	6m	6m	0.000585	0.048	81 l.	7 mil. 222	Beau temps. Soleil
14/4/33	Nord-Ouest	Nord-Ouest	4m	4m	traces	0.096	163 l.	traces	Temps couvert, lendemain d'orage, petites pluies orageuses intermittentes.
28/4/33	Nord-Ouest	Nord-Ouest	7m	7m	0.000936	0.3456	586 l.	1 mil. 597	Beau temps, q. q. nuages élevés.
29/4/33	Sud-Sud-Ouest	Sud	2m	6m	0.000468	0.2112	358 l.	1 mil. 307	Beau temps. Soleil
1/5/33.....	Sud	Sud	4m	2m	0.000351	0.264	447 l.	0 mil. 785	Temps couvert, siroco.
2/5/33.....	Sud-Ouest	Nord	2m	4m	0.000234	0.0984	166 l.	1 mil. 409	Temps couvert. siroco, vent levant du sable.
3/5/33.....	Ouest	Nord-Ouest	6m	7m	0.000351	0.156	264 l.	1 mil. 329	Temps chaud, couvert, pluie légère.

F. BŒUF

LA PHOTOSENSIBILISATION DES ORGANISMES

(Revue de Travaux)

INTRODUCTION

La lumière exerce sur les organismes végétaux et animaux une action qui se manifeste de multiples manières : photosynthèse chez les plantes pourvues de chlorophylle, phototropisme chez les végétaux et chez certains animaux, photomorphoses ou actions formatives chez les plantes, accidents divers dus à une intensité trop grande de la lumière solaire ou à la présence de certaines radiations dans les lumières artificielles (érythèmes, œdèmes, dermites, etc.). La médecine utilise l'action physiologique ou thérapeutique de la lumière naturelle, de radiations infra-rouges ou ultra-violettes, comprises ou non dans le spectre solaire, d'autres radiations plus courtes et plus pénétrantes (rayons X, rayons du radium, d'autres plus longues produites par les courants de haute fréquence, d'arsonvalisation, diathermie, etc.).

L'irradiation par les U.-V. transforme certains stérols en vitamines susceptibles de jouer un rôle important dans le métabolisme des animaux. C'est dire le rôle important joué par la lumière dans la vie des organismes. Au point de vue de la pathologie, on peut dresser une liste assez longue d'affections attribuées à une carence de lumière et d'autres dues à une action nocive de certaines radiations. Il faut bien reconnaître que l'étiologie de ces affections n'est pas toujours établie de façon assez complète pour que le rôle de la lumière puisse être défini avec précision.

L'action de la lumière paraît souvent déclanchée, intensifiée, modérée et même inhibée par la présence dans l'organisme de substances, soit endogènes, soit exogènes, auxquelles on reconnaît ainsi un rôle de sensibilisateurs ou de désensibilisateurs des organismes à l'égard de la lumière. Ce sont ces phénomènes de photosensibilisation qui font l'objet de la présente note. Ils ont été reconnus et étudiés dans l'action de la lumière sur les substances non organisées et constituent maintenant un chapitre de la photochimie. Il n'est pas sans intérêt de les rappeler, car ils se rapportent à des substances et à des

réactions chimiques beaucoup plus simples que le sont le protoplasme vivant et les réactions complexes qui constituent le fonctionnement de ce dernier. Leur étude permet de mieux comprendre le mécanisme de la sensibilité et de la sensibilisation des organismes à la lumière, ainsi qu'aux autres radiations. Nous rappellerons donc, en premier lieu, les notions qu'il importe d'avoir présentes à l'esprit pour établir une expérimentation correcte sur les êtres vivants.

I. La lumière agent chimique

Certaines actions chimiques de la lumière sur les substances organisées ou inorganisées sont connues depuis longtemps : blanchiment de la toile, décoloration des substances colorantes, noircissement de certaines peintures (lithopone), photographie, modifications de diverses solutions exposées à la lumière, etc.

Le rôle de la lumière comme agent chimique n'a pu être précisé qu'après le développement des théories relatives à la constitution des atomes et des molécules, au mécanisme des réactions chimiques, à la nature de l'énergie rayonnante.

Nous rappellerons ces théories en quelques mots, sans bibliographie correspondante, car elles sont une simple entrée en matière destinée à éclairer l'exposé du sujet.

I. Constitution de la matière

Nous supposons connues les théories de la constitution de l'atome d'après les travaux de Rutherford et de Bohr : noyau central ou *proton* (+), entouré d'*électrons* (-) dont le nombre correspond au numéro d'ordre de la classification périodique des éléments, parcourant à très grande vitesse des orbites circulaires ou elliptiques; les électrons dits de valence se trouvant sur l'orbite externe; les propriétés des éléments résultant du nombre des électrons de valence, de la facilité avec laquelle ils perdent un ou plusieurs de ces électrons pour donner les ions + (Na +, K +, ... Mg + +, Ca + +, Al + + +, etc.), ou gagnent un ou plusieurs électrons pour former des ions — (Cl —, Br —, ... S — —, Se — —, etc.).

Si aucune force externe n'intervient, un électron parcourt indéfiniment son orbite, il n'émet pas d'énergie rayonnante, il y a équilibre dynamique, par suite de l'égalité entre la force centrifuge et l'attraction du noyau.

Une action extérieure suffisamment énergique (choc, onde électromagnétique) peut le chasser hors de l'atome, qui devient ionisé, ou

le projeter sur une orbite plus externe, ce qui absorbe une quantité déterminée d'énergie. L'atome se trouve alors dans un état métastable dit *état de Bohr* et l'électron déplacé ne tarde pas à retomber, directement, ou par une suite de chutes successives, sur son orbite de départ. D'après Bohr, l'énergie libérée dans cette chute est émise sous forme de radiations monochromatiques et représente un quantum d'énergie rayonnante, quelle que soit l'orbite de départ et celle d'arrivée.

On peut calculer la fréquence ou la longueur d'onde des radiations émises si l'on connaît la quantité d'énergie libérée et *vice versa*, application facile quand un seul électron accompagne le noyau (cas de l'Hydrogène). Quand l'atome possède plusieurs électrons, la fréquence des rayons émis permet de calculer les différences d'énergie entre les orbites possibles.

Dans les molécules, des atomes de même espèce ou d'espèces différentes ont échangé des électrons de valence et s'entourent d'une ceinture commune d'électrons.

Cette connaissance de la constitution de la matière conduit à la théorie de l'émission de la lumière (spectres continus, émis par les corps solides incandescents; spectres de raies, produits par les vapeurs des éléments portés à l'incandescence ou excités par des décharges électriques; spectres de bandes, parfois résolubles en raies distinctes très rapprochées).

2. Mécanisme des réactions chimiques

Une réaction chimique est la transformation de composés chimiques définis en autres composés chimiques définis. Dans une réaction, les atomes restent inaltérés, ils passent d'une molécule d'un type à une molécule d'un autre type.

Les molécules sont en perpétuel mouvement. Elles sont plus libres dans les liquides que dans les solides; elles sont séparées les unes des autres dans les gaz. Dans leurs mouvements, elles se heurtent, ces chocs sont extrêmement fréquents; certains seulement de ces chocs sont suivis de réactions chimiques et la vitesse de la réaction est très variable, depuis un temps extrêmement court presque impossible à saisir, jusqu'à une durée très longue qui fait que la réaction est difficile à déceler.

Le fait que les réactions chimiques ne sont pas instantanées montre que toutes les molécules d'un composé ne sont pas dynamiquement semblables. Certaines possèdent seules un niveau énergétique suffisant pour participer à la réaction; on les appelle *molécules actives*.

La température accélère les réactions chimiques en augmentant le

nombre des chocs entre molécules; la vitesse de la réaction croît, non pas proportionnellement au nombre de rencontres, mais en raison du nombre de molécules dont *l'énergie dépasse l'énergie d'activation* (cette valeur peut être calculée) :

$$\frac{d \log. K}{dT} = \frac{W}{RT^2}$$

K = constance de vitesse,

T = température absolue,

R = constante des gaz parfaits rapportée à une molécule.

Toutes les molécules peuvent finir par réagir, car leur énergie change de valeur à chaque choc et, après un temps d'autant plus long que l'énergie d'activation est plus grande et que la température est plus basse, toutes les molécules peuvent posséder l'énergie d'activation et participer à la réaction.

3. Nature de l'énergie rayonnante

Tout corps chaud envoie dans l'espace un rayonnement formé de radiations dont la fréquence et la longueur varient avec la température. Les radiations émises par le soleil, après avoir traversé l'atmosphère, qui en absorbe une partie, constituent le spectre solaire : infra-rouge, partie visible, ultra-violet solaire.

Les conceptions successives sur la nature des radiations : *émission* de corpuscules projetés par le soleil à la vitesse de 3.10^{10} cm. sec (Newton), ou vibrations de l'éther (Huyghens, Fresnel, Foucault), couple de deux ondulations, électrique et magnétique, de même période et de même vitesse (Maxwel), se sont fondues en un concept unique, le mouvement d'un photon s'accompagnant d'une onde associée (de Broglie).

Les radiations peuvent être représentées par les photons tous projetés avec la même vitesse; chaque radiation a une longueur d'onde λ et une fréquence V qui lui sont propres.

$$V\lambda = 3.10^{10} \text{ cm. sec}$$

L'énergie de chaque photon est le *quantum* W d'énergie rayonnante, c'est-à-dire la quantité qui correspond à chaque nature de radiation.

$$W = h\,v$$

h étant la constante universelle de Planck = $6{,}554.10^{-27}$ erg. sec.; donc, « les radiations transportent de l'énergie par quantités élémentaires proportionnelles à leur fréquence ».

4. Absorption de la lumière par la matière, modes de transformation de l'énergie rayonnante

La lumière frappant une substance se réfléchit partiellement, même si l'incidence est normale. La partie qui pénètre subit une plus ou moins grande absorption, continue ou sélective.

La fraction d'énergie lumineuse incidente qui est absorbée par un milieu d'épaisseur donnée est indépendante de l'intensité initiale. L'absorption croît en progression géométrique quand l'épaisseur croît en progression arithmétique (loi de Lambert).

Quand la substance absorbante est à l'état gazeux, ou dissoute dans un dissolvant transparent, le coefficient d'absorption est proportionnel à la concentration (loi de Beer).

Ces deux lois ne s'appliquent qu'à des lumières monochromatiques.

Quand la loi de Beer ne s'applique pas, l'anomalie tient à des actions chimiques entre corps dissous et dissolvants (dissociation, association moléculaire, combinaisons, etc.). La simple dissociation électrolytique n'affecte pas l'absorption.

Le spectre d'absorption est généralement formé de raies distinctes pour les vapeurs monoatomiques, de raies nombreuses très rapprochées pour les composés à l'état gazeux et pour les éléments à molécules polyatomiques (Cl^2, N^2, etc.), de bandes d'absorption, non résolubles en raies distinctes, pour les substances solides, liquides ou dissoutes.

Le spectre d'absorption d'une substance dépend essentiellement de sa constitution chimique. Pour les combinaisons organiques, une bande ou un ensemble de bandes est lié à l'existence, dans la molécule, d'un groupement atomique particulier auquel on a donné le nom de *chromophore*.

Quand une matière absorbe la lumière, un photon est capté par une seule molécule et une molécule ne peut capter qu'un photon. Le quantum d'énergie que transporte ce dernier s'ajoute à l'énergie que possédait la molécule. L'énergie d'un photon violet est plus de 80 fois l'énergie moyenne d'une molécule d'un gaz à 20°. Elle correspond à celle d'une molécule du gaz s'il était porté à 20.000-25.000 degrés. Elle est plus grande que l'énergie d'activation.

Les radiations qui ne modifient que le mouvement rotatoire des molécules ou les vibrations des atomes appartiennent à l'infra-rouge et sont généralement sans action chimique; les rayons visibles et les ultra-violets, capables de déplacer les électrons, sont chimiquement actifs.

Quand une molécule reçoit d'une radiation une quantité suffisante d'énergie, plusieurs cas peuvent se produire :

1) les électrons de la molécule sont déplacés, la molécule est activée;

2) les atomes sont ébranlés, leurs liens affaiblis, la molécule est prédissociée;

3) les atomes se séparent, la molécule est dissociée;

4) les électrons des atomes sont déplacés, les atomes sont activés;

5) les atomes perdent un électron et deviennent ionisés.

Ces états intermédiaires ne durent qu'un très court instant (de l'ordre du 100 millionième au 10 millionième de seconde); une molécule activée peut se désactiver par dissipation de l'énergie fixée et retrouver son état initial, ce qui explique que la lumière ne provoque pas obligatoirement une transformation visible de la matière.

On peut toutefois montrer expérimentalement la réalité de ces états intermédiaires : les phénomènes de fluorescence permettent de déterminer la durée de la vie de certaines molécules activées; celles-ci ont également des spectres d'absorption qui leur sont propres; enfin, les réactions photochimiques constituent une autre preuve de ces états intermédiaires.

L'énergie radiante absorbée par la matière se retrouve sous diverses formes :

1) *mécanique*, déplacement du corps insolé, qui subit une pression de radiation de l'ordre de 10 grammes par hectare, pour la lumière solaire, et suffit à faire tourner le moulinet d'un radiomètre;

2) *calorifique*, échauffement de la matière, cas fréquent pour les rayons I-R;

3) *électrique*, ionisation des atomes, cellules photo-électriques;

4) *lumineuse*, fluorescence et phosphorescence, les radiations ainsi émises sont généralement de fréquence plus faible que les radiations incidentes;

5) *chimique*, réactions diverses. Ces deux derniers cas seuls rentrent dans notre sujet.

5. Phénomènes de photoluminescence

On distingue : la *fluorescence*, émission de lumière qui suit immédiatement l'absorption et disparaît dès que l'éclairement cesse, et la *phosphorescence*, qui se prolonge un certain temps après la fin de l'éclairement.

Il n'y a pas de limite nette entre les deux cas; la durée de l'émis-

sion croît quand la mobilité des molécules diminue, l'augmentation de la viscosité du milieu permet de passer de la fluorescence à la phosphorescence. Les gaz et les liquides peuvent être fluorescents, les solides ne sont que phosphorescents.

La luminescence ne doit pas être attribuée obligatoirement à une réaction chimique produite par la lumière [1]; elle reste indépendante des réactions qui peuvent l'accompagner. Il est indubitable qu'elle est due à une chute d'électrons sur une orbite plus interne, mais la théorie complète n'en est pas établie :

a) *Fluorescence.* — Elle est fréquente chez les gaz à basse pression et basse température. Elle est plus rare chez les liquides et les solides. Elle se rencontre surtout chez des composés organiques complexes et se trouve alors liée à la présence de groupements atomiques dits *fluorophores*. Ce sont des corps à chaînes hétérocycliques le plus souvent hexagonales.

La présence d'un fluorophore dans une molécule ne suffit pas à produire la fluorescence, il faut que le fluorophore soit en relation avec deux ou plusieurs noyaux benzéniques. Il semble que le rôle du fluorophore soit de déplacer, vers la région visible, le spectre de fluorescence ultra-violet des composés aryliques, comme les chromophores déplacent les bandes d'absorption ultra-violettes vers les grandes longueurs d'onde (loi de STOKES).

Les gaz sous faible pression donnent un spectre de fluorescence formé de raies; il y a réémission des radiations excitatrices ou émission d'autres radiations.

La présence d'autres molécules gazeuses diminue l'intensité de la fluorescence, avec libération d'énergie sous forme de chaleur.

Les solutions donnent un spectre de fluorescence formé de bandes (raies élargies et confondues).

L'intensité de la lumière excitatrice et la concentration du corps fluorescent augmentent la fluorescence des gaz et des solutions, en passant par un maximum.

Les rayons qui excitent la fluorescence correspondent à une bande d'absorption du corps fluorescent.

La fluorescence peut être produite indirectement, par la transmission aux atomes d'un corps, de l'énergie rayonnante captée par les atomes d'un autre corps non fluorescent lui-même. Ex. vapeurs de mercure rendent fluorescentes vapeurs de thallium, de cadmium, de plomb, de bismuth.

---

(1) L'oxydation du phosphore le rend phosphorescent. La pulvérisation de certaines substances (sucre) les rend phosphorescentes.

Ces phénomènes fournissent une explication de certains phénomènes de sensibilisation photochimique.

b) *Phosphorescence.* — La phosphorescence semble, au premier abord, n'être qu'une fluorescence prolongée ou différée par le peu de mobilité des molécules dans un solide. En réalité, il est probable que les deux phénomènes sont différents.

Une substance tout à fait pure n'est jamais phosphorescente; elle peut le devenir quand elle contient des traces de matières étrangères. Les sulfures alcalino-terreux, bien étudiés à ce point de vue, ne deviennent phosphorogènes que s'ils contiennent une petite quantité de métaux étrangers (Cu, Pb, Mg, Bi, Ag, etc.).

On admet que ces impuretés forment, avec le sulfure, des complexes jouant le rôle de « centres actifs ». Les corps phosphorescents devraient être considérés comme des systèmes phosphorescents, sous la forme de solutions solides.

Ce sont surtout les rayons bleus, violets et U-V qui excitent une phosphorescence visible.

La quantité de lumière émise croît avec la concentration de la matière active, passe par un maximum et décroît ensuite jusqu'à devenir nulle.

Le degré d'excitation n'est pas proportionnel à l'intensité de la lumière incidente. Il s'accroît jusqu'à un état qui reste stationnaire et qui correspond probablement au moment où tous les « centres actifs » sont excités.

L'extinction de la phosphorescence est produite par certaines radiations, généralement rouges ou infra-rouges, et parfois par des radiations de plus courte longueur d'onde.

Nous verrons que la plupart des substances capables de provoquer la photosensibilisation des organismes sont phosphorescentes, que l'on a attribué des effets antagonistes aux diverses radiations qui frappent les organismes sensibilisés.

6. Phénomènes photochimiques

a) *Conditions et modes d'action de la lumière.* — La lumière devant fournir l'énergie nécessaire aux réactions chimiques qu'elle détermine, il en résulte que seules les radiations absorbées peuvent provoquer la réaction (loi de Grotthus-Draper). Ce n'est qu'une règle qualitative de l'absorption photochimique. La loi quantitative, qui exprime la fonction mathématique qui lie la quantité de lumière absorbée à la quantité de matière transformée, est envisagée plus loin.

La lumière ne se transforme en énergie chimique que dans les réactions qui demandent une dépense de travail (endo-énergétiques). Quand elle accélère une réaction susceptible de se produire elle-même à l'obscurité, elle se transforme en chaleur, qui s'ajoute à celle dégagée par la réaction.

L'activité photochimique de la lumière croît avec sa fréquence :

l'infra-rouge est à peu près inactif; on a pu cependant sensibiliser des plaques photographiques à l'I.-R. voisin du spectre visible, par la dicyanine;

le rouge provoque l'oxydation de l'acide iodhydrique, la photosynthèse chlorophyllienne, etc.;

les autres radiations visibles, et surtout l'ultra-violet, provoquent de nombreuses réactions.

Cette règle générale souffre des exceptions.

Un composé peut présenter plusieurs bandes d'absorption, les unes correspondant à une simple absorption thermique, les autres à une absorption chimique par les groupements moléculaires sur lesquels porte la réaction.

Dans certains mélanges de deux substances, la lumière absorbée par l'une des substances, dite *photosensible*, la rend chimiquement active à l'égard de l'autre, qui est non sensible et joue le rôle *d'accepteur*.

Cl + lumière bleue = absorption thermique;

Cl + H + lumière bleue = HCl; Cl est devenu actif à l'égard de H; l'absorption par les molécules de Cl n'a pas changé, l'énergie se dissipe en chaleur dans le premier cas et produit une action chimique dans le deuxième.

b) *Principaux types de réactions photochimiques.* — Chez les *métaux*, la lumière provoque parfois, ainsi que nous l'avons vu, des phénomènes photoélectriques.

Les *métalloïdes* peuvent subir des transformations :

L'Oxygène est transformé en Ozone par les U.-V. et la transformation inverse a lieu sous l'influence des U.-V. absorbés par l'Ozone. Ces transformations se produisent dans la haute atmosphère et y jouent un rôle des plus importants en arrêtant les U.-V. nuisibles aux organismes terrestres.

Le Phosphore blanc émet, dans le vide, des vapeurs que les radiations violettes transforment en phosphore rouge.

Le Sélénium subit, à la lumière, des transformations qui font

varier sa conductibilité. Ce phénomène a reçu de nombreuses applications.

Les *photolyses* sont très nombreuses : HCl, IoCl, H^2S, NH^4 sont décomposés en leurs éléments — l'eau est décomposée en hydrogène et eau oxygénée — décomposition des chlorures, bromures et iodures d'argent, de l'oxyde de zinc, du sulfure de mercure, etc. — nombreuses décompositions de corps organiques (alcool, aldéhydes, cétones, éthers, acides, amines, etc..., avec dégagement de gaz dépendant de la fonction des corps.

La lumière produit quelques *polymérisations* : anthracène donne dianthracène.

De nombreuses *synthèses* sont réalisées par la lumière qui vient frapper un mélange dont l'un au moins des constituants absorbe la lumière. Les photooxydations sont fréquentes : chloroforme transformé en phosgène, sels ferreux en sels ferriques, ergostérol en vitamine D. Une photosynthèse peut reproduire un composé détruit par photolyse : ainsi, HCl, IoCl et BrCl, décomposés par les radiations qu'absorbent ces acides, se reconstituent sous l'influence des radiations qu'absorbent les produits de décomposition. Tout dépend de la nature de la radiation absorbée; il importe de faire une sélection rigoureuse des radiations. On a pu réaliser, *in vitro*, des photosynthèses de substances organiques : les U.-V. transforment un mélange d'ammoniaque et d'oxyde de carbone en formamine, un mélange d'ammoniaque et de formol en alcaloïde (Berthelot et Gaudechon).

Ces synthèses ont un rendement beaucoup plus élevé dans la Nature grâce à la photosensibilisation.

Certaines réactions photochimiques n'ont lieu qu'en présence de l'Oxygène ou de l'eau.

c) *Loi de l'équivalence photochimique* (Hypothèse d'Einstein). — Einstein a formulé l'hypothèse que le nombre des molécules d'une substance photosensible, entrant en réaction sous l'action de la lumière, est égal au nombre des quanta absorbés.

De cette hypothèse découle la loi d'équivalence photochimique; le calcul montre que la quantité E d'énergie rayonnante nécessaire pour transformer une molécule-gramme d'une substance photosensible est donnée par la relation :

$$E = \frac{28.500}{\lambda} \text{ cal. gr.}$$

Un petit nombre de réactions photochimiques donnent en réalité un rendement quantique égal à l'unité. Pour le plus grand nombre,

ce rendement s'écarte beaucoup de cette valeur théorique, parce que le sort des molécules dépend de la nature des corps et des possibilités de réactions chimiques. Berthold (1928) donne, pour 54 réactions photochimiques, 6 cas conformes à la loi et pour les autres des valeurs extrêmes de 0,002 à 110.000.

Le *rendement quantique peut être réduit* par les causes suivantes :

désactivation de molécules par perte d'énergie rayonnante avant la réaction, lorsque la concentration de l'accepteur est trop faible;

désactivation par les molécules du dissolvant;

activation d'un nombre restreint de molécules du corps photosensible parce qu'elles ne possèdent pas toutes l'état énergétique préalable qui les rend aptes à s'activer;

transformation d'un nombre restreint de molécules de l'accepteur qui ne possèdent pas toutes l'état énergétique préalable nécessaire à la réaction.

Le rendement quantique peut être augmenté par :

existence d'une chaîne de réactions;

activation d'autres molécules par l'énergie dégagée par la réaction fortement exoénergétique (peu de cas);

formation d'un catalyseur dont l'action peut se continuer même à l'obscurité (ce cas serait le plus fréquent).

d) *Théorie radiochimique de* Perrin. — « Toute réaction chimique est provoquée par une radiation; sa vitesse est déterminée par l'intensité de cette radiation et ne dépend de la température que dans la mesure où cette intensité en dépend. »

Cette théorie permettrait d'expliquer le mécanisme des réactions monomoléculaires, qui reste mystérieux.

En étudiant la variation d'intensité de chaque radiation, en fonction de la température dans l'émission d'un corps noir, et la variation, dans les mêmes conditions, de la vitesse de la réaction examinée, on trouve, dans la plupart des cas, que les radiations actives sont dans l'infra-rouge.

Il faudrait que l'un au moins des corps de la réaction ait un pouvoir absorbant dans l'infra-rouge, ce qui n'a pu être qu'exceptionnellement vérifié; en augmentant l'intensité de ces radiations sans élever la température, la réaction n'est pas accélérée.

Il est vrai qu'il y a équivalence entre chocs moléculaires et radiations : on peut se chauffer les mains dans l'eau chaude (chocs moléculaires) ou au feu (source de radiations) (Perrin). De l'arrêt d'un

électron résulte une perte d'énergie cinétique et un rayonnement; inversement, l'arrêt d'un rayonnement provoque une émission d'électrons.

La généralisation que comporterait la théorie radiochimique est très séduisante, mais elle n'est pas, actuellement, vérifiable expérimentalement.

7. Catalyse photochimique

Nous avons vu précédemment que le rendement quantique d'une réaction photochimique est fréquemment modifié, par la formation d'un catalyseur, positif ou négatif, non doué de propriétés photochimiques, n'absorbant pas les radiations actives. Il y a, dans ce cas, catalyse photochimique.

« Le mode d'action des catalyseurs est encore très imparfaitement connu. Dans certains cas, même ceux où la formation d'un catalyseur ne peut être mise en doute, il n'a pas été possible de l'identifier » (Berthoud).

La catalyse photochimique présente des caractères variés :

1) le catalyseur est une substance étrangère non détruite par la réaction ou lentement détruite dans les réactions secondaires;

2) le catalyseur se reforme sous l'action de la lumière (auto-catalyse, accélératrice ou retardatrice);

3) le catalyseur intervient dans le phénomène primaire causé par la lumière; il peut modifier la vitesse de la réaction provoquée par la lumière ou modifier le domaine spectral auquel le système est sensible (sensibilisation chimique, différente de la sensibilisation optique envisagée au paragraphe suivant);

4) le catalyseur agit sur les réactions secondaires qui suivent l'action de la lumière (simple catalyse chimique).

Exemples :

La photosynthèse de l'acide chlorhydrique aux dépens de H et Cl n'a lieu qu'en présence de la vapeur d'eau; la présence d'oxygène a une action retardatrice.

La photolyse de l'ozone serait accélérée par l'Hydrogène, retardée par l'Oxygène, l'Azote, l'Argon, l'Hélium, l'acide carbonique. La cinétique de ces réactions est encore incomplètement connue, malgré de nombreux travaux.

La vapeur d'eau joue très fréquemment le rôle de catalyseur actif et parfois négatif dans les réactions photochimiques, comme d'ailleurs dans de nombreuses réactions thermiques.

La lumière exerce une action retardatrice sur certaines réactions

(oxydations des sulfures, de CuCl, du pyrogallol). Le mécanisme de cette action est encore inconnu.

8. Sensibilisation optique ou photocatalyse

« Il y a sensibilisation optique ou photocatalyse quand un système chimique est rendu sensible à certaines radiations par la présence d'une substance étrangère qui les absorbe » (Berthoud). La sensibilisation a parfois pour effet d'étendre seulement la région du spectre active à l'égard du système chimique, qui est sensible à certaines radiations. Le sensibilisateur se produit parfois sous l'action de la lumière, et il y a autosensibilisation.

Exemples :

La vapeur de mercure absorbe les radiations 2536,7 Å et peut céder l'énergie ainsi captée à d'autres atomes ou molécules qui se trouvent ainsi activés. Sous cette action, l'Hydrogène devient capable de réduire, à la température ordinaire, l'oxyde de cuivre, l'oxyde de tungstène. L'Hydrogène ainsi dissocié et activé peut se combiner à l'oxygène, agir sur l'étylène, l'oxyde de carbone, le protoxyde d'azote.

Les sels ferriques sont photosensibles, leur photolyse s'accompagne de la transformation des ions Fe. en ions Fe.. ; la mise en liberté d'oxygène les fait agir comme photosensibilisateurs; ils agissent comme oxydants.

Les sels d'uranyle de couleur jaune-vert et fluorescents, soumis aux radiations bleues-violettes et U.-V., subissent une réduction en présence de corps oxydables (alcool, glycérine, acide formique); ils sensibilisent la photolyse d'acides organiques.

L'oxyde de zinc provoque la réduction à la lumière de diverses matières colorées, organiques ou minérales, la transformation de l'oxygène en ozone, la photolyse de l'azotate d'argent.

Le chlore sensibilise la décomposition de l'ozone, celle du phosgène, la formation de l'eau, du trioxyde de soufre, etc.

Le brome et l'iode sensibilisent également de nombreux composés bromés et iodés.

Beaucoup de *matières colorantes* sont photosensibles et photosensibilisatrices. L'addition de substances colorantes à l'émulsion des plaques photographiques a permis de rendre ces dernières sensibles aux radiations absorbées par les substances ajoutées; on a pu obtenir des plaques panchromatiques presque également sensibles à toutes les radiations visibles, en superposant plusieurs sensibilisateurs. Les matières colorantes sensibilisent de nombreuses réactions, particulièrement des oxydations.

Le mode de sensibilisation varie probablement suivant les systèmes chimiques en présence. Il est probable que, le plus souvent, la substance colorante rendue active par la lumière entre en réaction avec la substance qu'elle sensibilise et se trouve ramenée à l'état initial par une seconde réaction. Souvent, elle cède de l'oxygène et se transforme en leucodérivé, qui régénère la substance colorante par son oxydation directe en présence d'oxygène.

Exemples :

1) Glycérine + Uranine + $h\nu \longrightarrow$ leucodérivé + Glycérine oxydée;
2) Leucodérivé + $O^2 \longrightarrow$ Uranine.

Un certain nombre de sensibilisateurs sont fluorescents. Tous ne le sont pas. Nous avons vu que la fluorescence a une longueur d'onde plus grande que les radiations excitatrices; elle est donc généralement moins active.

Le pouvoir sensibilisateur, dans une série comme celle de la fluorescéine, varie à l'inverse du pouvoir fluorescent. La fluorescence est un mode de restitution de l'énergie absorbée, la photosensibilisation en est un autre. Il ne semble pas que le pouvoir fluorescent indique autre chose que la photosensibilité d'une substance; il serait indépendant et même en opposition avec le pouvoir photosensibilisateur.

II. La Photosensibilisation des Microorganismes

Raab (1900), élève de Tappeiner, constata que *Paramoecium caudatum*, placé dans une solution d'acridine à 1 : 20.000, meurt en 6 minutes en plein soleil, en 60 minutes à la lumière diffuse, survit 42 heures à l'obscurité.

Il ne s'agit pas d'effet thermique, car un écran au sulfate de cuivre interposé entre la source lumineuse et la solution capte les radiations qui échauffent la solution et ne modifie pas l'effet toxique de cette dernière.

La lumière n'agit pas en provoquant, aux dépens de l'acridine, la formation d'une substance plus toxique que ce corps, car une solution d'acridine préalablement insolée n'a pas plus d'activité que celle qui n'a pas été insolée; d'autre part, des Paramécies, au moment où ils vont mourir dans la solution insolée, continuent à vivre si l'on porte la solution à l'obscurité: les Paramécies supportent la lumière pendant de nombreuses heures sans dommage dans l'eau dépourvue d'acridine; d'autres solutions (morphine, strychnine, etc.), toxiques pour ces organismes, ne voient pas leur action accrue par l'exposition à la lumière.

Le sulfate de quinine, l'éosine et d'autres corps agissent comme l'acridine.

Von Tappeiner et Joldbauer (1907) tuaient des Paramécies en les exposant à la lumière, par sensibilisation à l'éosine.

Une culture de Paramécies, placée dans un tube de verre plongeant dans un cristallisoir contenant la solution d'éosine, n'était pas affectée par une exposition prolongée à la lumière.

Dreyer (1903) exposa des infusoires et des bactéries (*Massula*, *Bacillus prodigiosus*) dans une solution d'érythrosine à 1 : 4.000, non toxique à cette dose [1], à différentes radiations, en utilisant des filtres. Il constata que la mort par sensibilisation a lieu beaucoup plus vite que dans les conditions normales, et que les rayons verts, jaunes, orangés, rouges ont la même action que celle que l'on considérait comme exclusive aux rayons U.-V.

Les bactéries sont plus résistantes que les infusoires.

L'expérience, répétée avec *Bacillus prodigiosus* dans des cultures plates, sensibilisées ou non, exposées sous un spectre obtenu en dispersant les radiations d'un foyer lumineux de 26 ampères au moyen d'un prisme de quartz, montra que, dans les plaques non sensibilisées, la mort du *Bacillus prodigiosus* ne se produit que dans les parties exposées aux U.-V., tandis que, dans les plaques sensibilisées, le *Bacillus prodigiosus* meurt dans les parties exposées aux rayons jaune-orange.

Le même auteur, en plaçant des infusoires ou des bactéries sous des fragments de peau d'épaisseurs diverses, fixés à la formaline, obtint les temps suivants pour tuer les organismes, avec une lumière concentrée :

Organismes	Epaiss. de la peau	Non sensibilisés	Sensibilisés
Infusoires.....	1mm 25	22 secondes	60 minutes
Bactéries.....	1mm 25	20 minutes	11 heures
Infusoires.....	4 millimètres	6 à 7 minutes	plus d'un jour

L'action bactéricide des radiations à l'égard des bactéries pathogènes photosensibilisées a fait l'objet de nombreux travaux. Nous citerons à titre d'exemple les résultats obtenus par Philibert A. et Risler J. (1926-1928).

Des cultures bactériennes, sensibilisées au violet de méthyle, sont

(1) Halberstadter a vérifié les expériences de Dreyer après avoir montré que l'érythrosine à 1/1.000, à l'obscurité, n'exerce aucune influence sur les infusoires après deux semaines. Les organismes ne se colorent d'ailleurs qu'au moment de leur mort.

exposées au rayonnement d'une lampe à néon (350 bougies d'intensité). La solution absorbe les radiations de 4.000 à 7.000 A, c'est-à-dire la presque totalité du rayonnement de la lampe.

Tandis que les cultures non sensibilisées ne sont pas affectées par une irradiation d'une heure, que les cultures sensibilisées conservent leur vitalité quand elles sont conservées à l'obscurité, les cultures sensibilisées et irradiées sont détruites après les temps d'irradiation suivants :

Staphylocoque doré.....	1 minute
Bacille diphtérique.....	5 —
Pneumocoque.....	15 —
Streptocoque.....	30 —

D'autres bacilles n'ont pas été détruits après 30 minutes (le colibacille n'est pas affecté après une exposition de deux heures).

Les différentes espèces bactériennes présentent donc des degrés très variables de résistance au rayonnement du néon. Celui-ci, beaucoup plus pénétrant (ondes plus longues) que l'ultra-violet, est cependant mortel pour certaines espèces photosensibilisées.

La même expérience, répétée avec le Staphylocoque, mais en employant comme sensibilisateur l'éosine et le bleu de méthylène, ne donne pas de résultat après une heure d'irradiation. L'éosine absorbe le bleu et le vert, le bleu de méthylène absorbe le bleu, le vert et le jaune; tous deux sont transparents pour la majeure partie du rayonnement du néon, ce qui explique leur inefficacité comme sensibilisateurs. Il est nécessaire que le spectre d'absorption du sensibilisateur corresponde au spectre d'émission du foyer de lumière servant à l'irradiation.

Les mêmes auteurs ont montré que le sang humain n'est cependant pas photosensibilisant, pour des bactéries, quand on le soumet aux radiations correspondant au spectre d'absorption de l'hémoglobine; seul le staphylocoque ne s'est pas développé, mais sans être complètement détruit.

Il suffit d'ajouter une goutte de violet de méthyle à 10 cm³ de sang humain défibriné pour provoquer une lyse presque immédiate du staphylocoque. L'irradiation rend cette lyse encore plus rapide.

Une étude portant spécialement sur le bacille de la tuberculose (Risler, Philibert et Courtier, 1928) a montré que la sensibilisation de cultures avec des solutions de bleu de méthylène, d'éosine, de violet de méthyle, de 1/10.000 à 1/1.000 et leur irradiation à la lampe au néon, de 5 minutes à 4 heures, gêne le développement des cultures, mais ne les détruit pas.

Avec le pinachrome violet à 1/10.000 et une pause de 15 à 30 minutes, aucune culture n'a reparu dans les tubes, après un séjour de plusieurs mois à l'étuve.

Une étude méthodique de la sensibilisation spécifique des bactéries, à l'égard de rayonnements plus ou moins pénétrants, permettra sans doute la destruction de ces bactéries, si le foyer de développement peut être atteint par le rayonnement.

On peut rapprocher des cas de photosensibilisation des micro-organismes, les résultats obtenus par Loeb (1907) sur les œufs d'Astéries, par Bohn et Drezewina (1923) sur le sperme d'Echinodermes, de Flanaires, de petits Crustacés, avec le rouge neutre.

III. La photosensibilisation chez les végétaux

La Photosynthèse des hydrates de carbone dans les plantes pourvues de chlorophylle, aux dépens de l'acide carbonique de l'air, est considérée comme un cas de photosensibilisation du protoplasme des cellules par le pigment chlorophyllien, qui capterait l'énergie rayonnante pour la faire servir à cette synthèse.

Les travaux de Baly (1928) et de son école ont montré que l'on obtient des hydrates de carbone (sucres) en soumettant à l'irradiation ultra-violette une suspension aqueuse de poudre d'aluminium dans laquelle on fait barboter CO^2. L'action de surface joue un rôle fondamental; même résultat avec de la poudre d'aluminium, de sulfate de baryum, d'hydroxyde d'aluminium, de carbonates d'aluminium, de magnésium et de zinc.

Avec une poudre colorée en suspension, carbonate de nickel, vert, ou carbonate de cobalt, rose, la photosynthèse se produit à la lumière visible.

Aussi bien *in vivo* que *in vitro*, un excès de lumière empoisonne la surface par libération d'oxygène; accident qui se répare automatiquement, mais lentement.

La quantité d'énergie absorbée est d'environ 112.000 calories pour chaque molécule-gramme de CO^2 qui disparaît.

Cette quantité d'énergie peut être fournie par l'U.-V., mais le quantum correspondant à la longueur d'onde la plus efficace dans le processus naturel ne dépasse pas 42.000 calories. Il est probable que les chloroplastes et leurs constituants colloïdaux agissent comme catalyseurs de surface abaissant le taux d'énergie d'activation des molécules CO^2, par leur condensation et leur orientation.

Le coefficient d'utilisation de la lumière absorbée varie de 0,20 à

0,85, il est en moyenne, d'après Warburg, de 0,70, ce qui correspond à 3,6 quanta absorbés pour transformer une molécule de CO^2.

Le spectre d'absorption de la chlorophylle coïncide dans ses grands traits avec le spectre de sensibilité photochimique, et il n'est pas douteux que la chlorophylle joue le rôle de sensibilisateur photochimique.

On ignore encore le mécanisme des réactions qui aboutissent à la photosynthèse; on ne sait pas si le phénomène primaire est la dissociation de l'eau ou celle de CO^2; la seconde hypothèse paraît moins plausible, car la libération de l'Oxygène dans les chloroleucites décolorerait la chlorophylle par oxydation; la décomposition de CO^2 et la formation de CH^2O seraient des actions secondaires se produisant dans le protoplasme (Travaux de Wurmser, de Willstaetter et Stoll, de Thunberg, de Weigert) [1].

Barker (1931) émet l'hypothèse que les phénomènes de photosynthèse feraient entrer en jeu les quatre pigments contenus dans les feuilles. Willstaetter a montré que la chlorophylle *a* (principale bande d'absorption 6620 Å) fonctionnerait comme accepteur des atomes O dégagés par la décomposition de CO^2. Celle-ci, par absorption d'énergie, donnerait la chlorophylle *b* (bande d'absorption 6430 Å) et CH^2O activée.

Barker pense que la conversion inverse de la chlorophylle *b* en chlorophylle *a* ferait intervenir la carotine et donnerait en outre de la xanthophylle. Il resterait à expliquer la régénération de la carotine aux dépens de la xantophylle, phase qui compléterait le cycle; les essais tentés *in vitro* dans ce sens n'ont pas abouti. Il est possible que tous ces pigments soient photosensibles et utilisent l'énergie du rayonnement solaire à la réalisation de la chaîne de réactions envisagée ou que des enzymes jouent le rôle de catalyseurs.

D'autres pigments que la chlorophylle pourraient permettre la photosynthèse de l'amidon par les plantes. D'après Wurmser, la phycoérythrine des algues rouges leur permettrait d'assimiler en lumière atténuée.

L'action des photosensibilisateurs exogènes sur les végétaux semble avoir été peu étudiée.

D'après Galavielle et Portes (1923), des graines de *Lepidium sativum* et de *Raphanus sativus*, germant sur de la gelée de gélose, montrent une modification de la forme extérieure de la racine quand on ajoute au milieu une substance fluorescente.

L'*Elodea canadensis* plongée dans une solution faible d'éosine co-

(1) Cités par Bertrand dans *Photochimie*.

lore son protoplasme en rouge à la lumière solaire et le garde incolore à la lumière diffuse (Leclerc du Sablon).

Truffaut et Pastac (1929) ont constaté l'effet nocif de diverses substances colorantes sur les champignons saprophytes ou parasites et parfois une action sur les organes des plantes parasitées. Ils ne se sont pas préoccupés de la photosensibilisation possible des végétaux, alors qu'il s'agit de colorants vitaux qui teignent le protoplasme. Il n'est pas impossible qu'une telle action se produise à la lumière solaire. Il y aurait lieu d'envisager cette hypothèse de la photosensibilisation des champignons parasites.

C'est ce qu'a tenté Marcard R. (1932), en utilisant l'orangé d'acridine brillant E et la phosphine brillante S (composé zincique du précédent), qui ont à peu près la même absorption, du violet au vert compris, avec maximum dans le bleu, pour le traitement du Mildiou de la vigne (*Plasmopara viticola*). Les spores sont colorées et tuées, mais les conidiophores ne se colorent pas et le mycélium interne reste vivant.

La photosensibilisation chez les végétaux n'est peut-être pas étrangère au phénomène de l'*échaudage*, c'est-à-dire à la dessiccation brusque qui survient par vent chaud, surtout lorsque les organes ont été humidifiés par une légère pluie ou une brume nocturne, et qui atteint surtout les céréales. Nous avons indiqué, dans notre ouvrage sur le Blé, l'analogie que présente l'échaudage avec l'érythème solaire des animaux, quant à l'action de l'eau. Il est vraisemblable que celle-ci, en absorbant les rayons infra-rouges, crée un déséquilibre dans les radiations qui parviennent aux cellules du parenchyme foliaire; il est possible que la chlorophylle ou d'autres pigments, fréquents dans les épis, jouent le rôle de sensibilisateurs. Les blés durs à glumes rousses (Souri, Hamira) paraissent plus sensibles à l'échaudage que les blés à glumes blanches ou violacées.

IV. Photosensibilisation chez les animaux

Le phénomène de la vision dépend du changement subi par la rhodopsine, pigment pourpre de la rétine, sous l'influence de la lumière : dissociation en deux corps qui se recombinent à l'obscurité.

Il a été signalé depuis fort longtemps des lésions cutanées, accompagnées de symptômes digestifs et nerveux, entraînant parfois la mort, chez les animaux ayant ingéré certaines plantes et exposés à la lumière; ces accidents sont d'ailleurs en liaison avec la pigmentation des sujets.

1. Photosensibilisation par des plantes ingérées

Les plantes incriminées sont :

le Sarrasin (*Fagopyrum esculentum*), *Polygonum persicaria*, produisant les accidents désignés sous le nom de fagopyrisme, qui surviennent surtout après l'ingestion des sommités fleuries;

les Trèfles (*Trifolium hybridum*, *Tr. pratense*, *Tr. elegans*, *Tr. roseum*);

les Vesces (diverses espèces);

Malva parviflora, *Lamium amplexicaule*, *Stachys arvensis;*

les Millepertuis (*Hypericum perforatum*, *Hyp. crispum*).

Cette dernière espèce est très commune en Tunisie et y provoque chez le mouton, le bœuf et le cheval des accidents plus ou moins graves, allant jusqu'à la mort chez la première espèce. Son action est très connue de tous les éleveurs. Les vétérinaires nord-africains, de même que ceux des autres pays, ont signalé de très nombreux cas de cette photosensibilisation due au Millepertuis.

Richert (1926) expose, dans sa thèse, des observations antérieures ou personnelles sur les Pellagres animales; le même auteur (1927), après avoir rapporté les observations relatives aux espèces végétales signalées ci-dessus (dont il donne une bibliographie), relate douze observations personnelles de cas accidentels de photosensibilisation due au Millepertuis commun (*Hyp. perforatum*), affectant le cheval et le bœuf.

Plutôt que de répéter ces observations, nous donnerons les résultats d'expériences personnelles, datant de 1905 (non encore publiés); elles sont de nature, mieux que des cas accidentels, à préciser les conditions qui doivent être réalisées pour que se manifeste l'action photosensibilisante de la plante.

Disons tout d'abord que le Millepertuis de Tunisie (*Hypericum crispum*), qui a été utilisé, infeste beaucoup de terrains en Tunisie; il se développe au printemps, forme des tiges de 30 à 40 centimètres de haut, à ramifications horizontales, portant de petites feuilles, dont les glandes à essence sont peu apparentes. Il fleurit en juin; à cette époque, il constitue souvent la seule plante verte dans les chaumes de céréales, après la moisson. Il est consommé volontiers par les animaux au pâturage, surtout en l'absence d'autre nourriture fraîche. Son enracinement très profond et vivace rend sa destruction difficile par les labours; il abonde dans certains vignobles, malgré la multiplicité des façons culturales au cours de l'été.

Il porte, sur le bord des feuilles et des pétales, ainsi que sur le haut

des tiges, de petits points, paraissant noirs, qui, à l'écrasement, se montrent formés d'une matière rouge vineux. Ces ponctuations sont plus abondantes à l'époque de la floraison. C'est sans doute cette substance rouge qui a fait donner au Millepertuis le nom de *Hamra* (rouge) par les indigènes.

Ceux-ci connaissent les propriétés de cette plante : le fait que les lésions ne se produisent que sur les parties de la peau non pigmentées et non couvertes par la laine, c'est-à-dire surtout sur la tête, les a conduits à sélectionner les moutons à tête noire ou complètement noirs. Dans les troupeaux de moutons indigènes, la plupart des individus ont au moins la tête pigmentée.

Nous avons tenu à vérifier les propriétés de l'Hamra, et les conditions dans lesquelles les accidents se manifestent. Ignorant, à cette époque, les questions de photosensibilisation, d'ailleurs peu connues, nous avons orienté nos investigations vers la recherche d'alcaloïdes et de glucosides, ces derniers pouvant donner une substance toxique par leur décomposition. Ces recherches n'ont pas abouti, et ont été abandonnées. Elles vont être reprises, en les envisageant au point de vue de la photosensibilisation. La transcription des notes de notre cahier d'expériences suffit à prouver qu'il s'agit bien d'un cas de photosensibilisation par une substance végétale.

Première expérience :

Mouton N° 1, blanc, tête et pattes brunes, poids..... 37 kg. 500

Mouton N° 2, complètement blanc, poids..... 42 kg. 300

mis dehors, au soleil, à partir du 27 avril, nourris exclusivement de Hamra frais.

28 avril, temps couvert.

29 avril, temps couvert le matin, demi-couvert après-midi.

30 avril, temps clair.

N° 1, rien; N° 2, après-midi, enflure de la face.

1er mai, temps clair.

8 h., N° 1 oreilles basses, à peine enflées.

N° 2 oreilles basses, enflées, paupières tuméfiées, animal couché, respiration rapide.

13 h., N° 2 yeux clos par enflure des paupières, face et oreilles enflées, l'œdème fait éclater la peau.

N° 1 symptômes moins accusés; pas d'éclatement de la peau.

17 h., N° 1 paupières et joues présentent des eschares.

N° 2 paupières et joues présentent des eschares, museau enflé, exsudation séreuse aux lèvres et aux oreilles.

Tous les deux sont couchés, ne mangent pas, respiration lente.

2 mai, temps clair.

6 h. Les deux animaux ont les paupières moins enflées, la mâchoire inférieure est enflée, pendante.

3 mai, temps clair, même état.

4 au 9 mai, temps couvert ou nuageux, plusieurs ondées, pas d'aggravation de l'état.

10 mai, tonte des animaux.

Le N° 1 pèse avant la tonte 29 kg. 5, après la tonte 25 kg. 300.

Le N° 2 pèse avant la tonte 30 kg. 6, après la tonte 26 kg.

Le N° 1 a donc perdu, depuis le 27 avril, 37 kg. 5 — 29 kg. 5 = 8 kg.

Le N° 2 a donc perdu, depuis le 27 avril, 42 kg. 3 — 30 kg. 6 = 11 kg. 700.

Du 11 au 15, temps nuageux, demi-couvert.

Les animaux maigrissent et s'épuisent. Le N° 2 est le plus malade : il se tient difficilement debout (raideur des membres antérieurs), se lève et se couche à tout instant; extensions violentes des membres postérieurs, agitation de la tête, respiration lente, difficile. A la chute du jour, mieux général.

12-13 mai, temps nuageux, pas d'aggravation.

14 mai, pluie, temps couvert, pas d'aggravation.

15 mai, temps nuageux; le N° 2 meurt vers midi.

16 mai, temps clair.

17 mai, temps clair; le N° 1 est très abattu, couché, respire difficilement; une écume blanchâtre sort de la gueule.

18 mai, temps clair, chaud; le N° 1 meurt à midi; poids 18 kg., il a perdu 19 kg. 7 (non compris 4 k g. 6 de toison).

Les symptômes débutent donc par un œdème des oreilles, des paupières, puis de la face; il y a ensuite exsudation séreuse et mortification des tissus, véritable apparence de brûlures. Les autres symptômes font penser à un empoisonnement par les toxines qui doivent prendre naissance dans les parties nécrosées.

A l'autopsie, pas de lésions apparentes des organes; ratatinement et déshydratation; le foie surtout est très réduit et durci, comme desséché.

La présence de la pigmentation rousse de la tête a retardé les effets du Millepertuis, mais la protection est insuffisante.

Les accidents s'aggravent par temps clair, lorsque l'insolation est complète; ils restent stationnaires par temps couvert ou nuageux.

Deuxième expérience :

N° 3, brebis blanche à tête et pattes brunes, poids..... 40 kg. 5

N° 4, brebis complètement blanche, poids..... 43 kg. 5

Du 27 avril au 8 juillet, les deux animaux sont alimentés exclusivement avec du Hamra frais, mais gardés en stabulation dans la bergerie, à l'ombre. Ils ne présentent aucun symptôme d'intoxication.

Leurs variations de poids ont été les suivantes :

	27 avril	9 mai	10 mai apr. tonte	17 juin	8 juillet	Perte non compris toison
	—	—	—	—	—	—
N° 3.....	40 kg. 5	36	31,1	34,7	34,2	1,4
N° 4.....	43 kg. 5	36,9	33,3	37,7	37	2,9

Les pertes de poids, non compris les toisons, sont peu importantes; elles tiennent sans doute à l'alimentation exclusive au Millepertuis, peu apprécié au début et mieux consommé ensuite, car la perte de poids, forte du 27 avril au 9 mai, est partiellement compensée par une augmentation, chez les deux animaux, entre le 10 mai et le 17 juin; l'état est stationnaire de cette dernière date au 8 juillet.

Le 8 juillet, les deux brebis sont sorties au soleil avec le troupeau; elles montrent, dès l'après-midi, une enflure de la face et les symptômes ordinaires de l'action de la Hamra. Le 10 juillet, la brebis N° 3 meurt, sans avoir présenté d'autres symptômes que la tuméfaction de la face (joues, paupières, lèvres) et des oreilles. A l'autopsie, pas de lésions apparentes. La brebis N° 4, remise à la bergerie, se rétablit rapidement et ne fut plus sortie de l'été.

On peut conclure de cette expérience que la substance active du millepertuis s'accumule dans l'organisme et qu'elle est susceptible de provoquer un dénouement fatal en deux jours. Dans ce cas, la mort ne peut être expliquée par les lésions ordinaires de la photosensibilisation, encore peu graves et n'affectant que la tête. Dans les conditions de l'expérience, la pigmentation rousse de la tête n'a pas été une sauvegarde.

Troisième expérience :

N° 5, mouton complètement noir.

N°s 6, 7, 8, 9, moutons complètement blancs.

Les animaux sont maintenus dehors, et nourris exclusivement avec le millepertuis, frais; il est en fleurs à cette époque (18 juin). Le N° 5 reste dehors pendant toute la durée de l'expérience, les N°s 6, 7, 8 et 9 sont placés successivement auprès du N° 5.

18 au 20 juin, ciel clair avec quelques nuages; aucun symptôme.

21 juin, ciel clair.

N° 5 : aucun symptôme.

N° 6, le matin, oreilles et paupières enflées; il est remis à l'ombre et remplacé par un mouton N° 7, également blanc.

22 juin, ciel clair; aucun symptôme.

23 juin, ciel clair.

N° 5 : aucun symptôme.

N° 7 : oreilles et paupières enflées; il est remis à l'ombre et remplacé par mouton N° 8 blanc et mouton N° 9 blanc, dont la tête est peinte en noir (noir de fumée délayé dans de l'huile).

24 juin, ciel clair.

25 juin, nuageux, légère pluie d'orage.

26 et 27, ciel clair, rien à signaler.

28 juin, ciel clair, le N° 5 ne présente aucun symptôme. Les N°s 8 et 9 commencent à avoir les paupières et les oreilles enflées.

29 juin, ciel clair; le N° 5 est toujours normal. Les N°s 8 et 9 ont toutes les parties de la tête enflées et sont remis à l'ombre à la bergerie, dont ils ne sortent plus. L'un des deux se rétablit; l'autre (N° 8) meurt dans la nuit du 2 au 3 juillet.

La pigmentation complète a préservé le mouton N° 5, qui a pu rester dehors, à une époque très ensoleillée, du 18 au 29 juin, sans présenter aucun symptôme d'intoxication, malgré une alimentation exclusive à la Hamra, alors que plusieurs moutons blancs, placés dans les mêmes conditions, ont été atteints successivement.

Le noircissement artificiel de la tête n'a pas été efficace, il n'a retardé que de quelques jours l'apparition des lésions.

La mort du mouton N° 8 ne peut être attribuée aux seules lésions visibles. Elle reste inexpliquée, comme celle du N° 3.

Les effets de la photosensibilisation se manifestent beaucoup plus rapidement et de façon plus intense dans la deuxième quinzaine de juin qu'en avril-mai. L'expérience ne permet pas de savoir si cette action plus intense tient à une plus grande quantité de substances actives à l'époque de la floraison du millepertuis ou à une insolation plus longue et plus forte. Les deux facteurs interviennent sans doute simultanément.

Cette étude doit être prochainement reprise au Service Botanique et Agronomique en utilisant des animaux de petite taille. Il est nécessaire de faire d'abord l'étude chimique et physique de la substance photosensibilisatrice, déjà commencée par d'autres travailleurs (voir

§ VII); de déterminer son mode d'action sur l'organisme suivant la voie d'introduction et plus particulièrement sa localisation, si elle existe; de faire agir des radiations monochromatiques ou tout au moins des groupes de radiations différant peu par leur fréquence; de rechercher l'effet de doses croissantes de substance photosensibilisatrice et d'irradiations d'intensité et de durées croissantes; d'envisager l'emploi de substances désensibilisantes.

2. Photosensibilisation par des substances chimiques

Dès 1900, Titze signalait la photosensibilisation des chevaux par l'éosine absorbée avec leur ration de grain.

Le Dr M. D'Halluin (1930) a fait de nombreuses expériences de photosensibilisation du rat blanc, au moyen de quelques substances chimiques injectées sous la peau. Son étude comporte d'excellentes indications sur les conditions dans lesquelles les rats doivent être placés pour n'être pas influencés par les conditions accessoires du milieu (confinement, élévation de température, modification de la lumière solaire).

Il montre l'inocuité complète du rayonnement solaire (à Nice) pour ces animaux non sensibilisés; l'action photosensibilisante des substances suivantes : Eosine, Rose Bengale, Erythrosine, Bleu de Méthylène, Gonacrine, Phénosaphanine, Safranine; il décrit des accidents aigus constitués par des troubles rapidement mortels, des accidents subaigus se dénouant par une mort retardée, des accidents chroniques se traduisant par des œdèmes, l'altération des pattes, des oreilles, de l'exophtalmie et de la conjonctivite, l'épilation partielle, le retard dans le développement, l'amaigrissement, l'irritabilité. Les accidents graves sont toujours accompagnés d'une forte hyperthermie.

Ces accidents varient un peu suivant la nature de l'agent de sensibilisation.

La mort peut survenir plusieurs jours après l'insolation, pour des animaux remis à l'ombre.

L'emploi de la résorcine comme désensibilisateur a donné des résultats positifs.

L'insolation derrière un verre ordinaire, à l'air libre, s'est montrée aussi active, sinon plus, que l'insolation directe.

La filtration du rayonnement à travers une cuve à eau (bocaux immergés), qui arrête à peu près tout l'infra-rouge, n'empêche pas les accidents chroniques, mais diminue les accidents aigus et subaigus.

L'auteur a obtenu des résultats presque nuls avec une lampe à vapeur de mercure, mais il fait des réserves sur ce point; l'exposi-

tion, au rayonnement infra-rouge d'un radiateur électrique, d'animaux sensibilisés n'a pas provoqué d'accidents; il conclut que les radiations les plus actives se trouvent dans le spectre visible.

Hausmann W. (1909) avait pu provoquer des accidents de même nature par injection à des souris d'hématoporphyrine : apoplexie, coma et mort en quelques minutes d'exposition à la lumière; forme aiguë avec agitation, érythème des oreilles, œdème des paupières, convulsions tétaniformes, coma et mort en quelques heures; forme subaiguë avec œdèmes cutanés et points de nécrose superficiels; forme chronique avec nécrose cutanée surtout limitée aux oreilles.

V. Photosensibilisation chez l'homme

Les effets de la lumière sur l'homme, avec ou sans sensibilisation préalable, ont fait l'objet de très nombreux travaux. Ils portent :

sur les affections déterminées par l'exagération de l'action lumineuse, généralement à la suite d'une sensibilisation par une substance, qui peut avoir son origine dans l'organisme (endogène), ou être introduite (exogène) par la voie transcutanée, par la voie digestive ou par des injections intraveineuses;

sur des affections provenant d'un affaiblissement général de l'organisme, auquel il est possible de remédier par l'action de radiations, dont on peut accroître l'efficacité par la photosensibilisation des malades.

C'est surtout la peau insolée qui est le siège des affections (érythème, œdème, eschares, etc.) du premier groupe, mais on comprend que des accidents secondaires, intéressant, soit les parties de la peau soustraites à la lumière, soit les fonctions générales de l'organisme, puissent se produire par suite de la migration de substances toxiques nées de l'action primaire de la lumière sur la peau.

1. Photosensibilisation morbide endogène

Des substances photodynamiques peuvent naître chez l'homme, à la suite d'états pathologiques particuliers ou de l'ingestion de produits toxiques. Elles paraissent faire défaut chez l'individu normal.

Ce sont des pigments paraissant dériver du sang (le principal est l'hématoporphyrine), ou issus de la fonction biliaire (bilirubine).

La première naît de la molécule d'hémoglobine par perte de son noyau ferrique; elle possède quatre noyaux hétérocycliques pyrroliques constituant des fluorophores (voir § 6). Elle ne vient peut-être pas d'une hémolyse, mais d'une synthèse effectuée dans l'intestin à partir des pigments biliaires.

La bilirubine a une formule très voisine.

La porphyrinurie est chronique, presque constitutionnelle, produit des éruptions printanières ou estivales (*Hydroa vacciniforme* de Bazin).

Le *Xeroderma pigmentosum*, congénital, a été aussi attribué à la fragilité globulaire (Finger, 1907).

L'*ictère* produit une photosensibilisation (Hausmann, 1923).

L'hématoporphyrinurie aiguë peut être déclenchée par l'ingestion ou l'injection de certains médicaments, en particulier les dérivés de la malonylurée, les barbiturates (véronal, dial, luminal, gardénal, soneryl, somnifère, etc.), le sulfonal et ses dérivés. Cette intoxication, connue sous le nom de *barbiturisme*, a fait l'objet de nombreux travaux.

Le saturnisme et le salycilisme sont susceptibles de provoquer la porphyrinurie et des accidents cutanés divers.

2. Photosensibilisation morbide exogène

a) *Voie transcutanée*. — Guillaume a montré, par des expériences, que les substances photosensibilisantes absorbées par la peau, jusque dans le corps muqueux, produisent des photodermiques localisées aux points d'absorption.

Un certain nombre d'affections cutanées accidentelles semblent avoir une semblable origine :

érythèmes prurigineux chez des ouvriers manipulant le goudron, la paraffine;

mélanose de guerre (Thibierge, 1925), attribuée à la manipulation des huiles de graissage; ces huiles et le goudron contiennent de la gonacrine, photosensibiliseur des plus actifs;

éruptions printanières dues au contact des feuilles de Primevère;

probablement beaucoup d'autres *dermites exématiformes* dues au contact accidentel de substances photoactives (teintures, etc.).

b) *Voie digestive*. — Quelques maladies humaines semblent résulter de l'ingestion d'aliments ou de substances médicamenteuses jouant le rôle de sensibilisateurs à la lumière :

pellagre, due à l'alimentation avec du maïs envahi par des moisissures. Ces dernières produiraient dans l'intestin une mycoporphyrine;

éosinisme : dermite des parties exposées à la lumière chez des malades à qui l'on administrait de l'éosine.

c) *Injections*. — Des cas d'abaissement du seuil des dermites solaires ont été décrits par Jausion et Marcheron chez des malades rece-

vant des injections de gonacrine: l'absorption de résorcine annule cette photosensibilisation.

3. Photosensibilisation préalable à la photothérapie (Jausion 1928)

Un certain nombre d'affections étant traitées par les radiations solaires ou celles de foyers artificiels, il était logique d'essayer de rendre les sujets plus sensibles par une photosensibilisation préalable.

Pelade. — Traitement par le mélange gonacrine, bleu de méthylène et pyridine, avec irradiation aux U.-V. Nombreux cas (Jausion, Marceron, Azam).

Alopécie séborréique, traitée de même, guérison dans la limite des bulbes pileux non atrophiés.

Lupus, sensibilisation à l'éosine ou à la gonacrine, irradiation à l'appareil Finsen.

Tuberculose verruqueuse, sensibilisation à la gonacrine, bleu de méthylène, irradiation aux U.-V.

Acné, sensibilisation et traitement actinique.

Maladies anergisantes. — Blennoragie, rachitisme, décalcification (Jausion, 1928).

On peut également ranger dans les cas de photosensibilisation les faits suivants.

Benoit et Helbronner (1930) ont montré que les animaux et l'homme peuvent être rendus plus sensibles à l'action de certains alcaloïdes et de divers médicaments toxiques (arsenic, iode, mercure, etc.) par irradiation du corps soit aux rayons U.-V., soit aux rayons infrarouges; « qu'il y a lieu de prévoir une correspondance entre les spectres d'absorption des agents chimiques mis en œuvre et des radiations qui les activent », et que certains vaccins sont activés par l'infrarouge.

4. Désensibilisation comme moyen thérapeutique (Jausion, 1928)

Les affections dues à une photosensibilisation morbide endogène (§ a) sont justiciables de traitement par désensibilisation.

Substances qui ont montré un pouvoir désensibilisateur :

résorcine (métadiphénol) et pyrocathéchine ingérées; résorcinate de camphre, adrénaline, tanin, alun, pommades à base de quinine, naphtosulfate de soude (savon antilux de Freund), naphtols A et B, esculine, en applications locales; xylol, qui empêche surtout la for-

mation des pustules et produit la mélanodermie; il faut ajouter les radiations rouges et infra-rouges (protection des varioleux, guérison des œdèmes dus à l'irradiation).

VI. Mécanisme de la photosensibilisation des organismes

Les expériences de photosensibilisation réalisées par de nombreux expérimentateurs et en particulier par Guillaume (1927) permettent de concevoir comme suit le mécanisme de la photosensibilisation, pour ce qui concerne l'homme et les animaux.

La substance photosensibilisante doit imprégner le corps muqueux de la peau, à l'exclusion de l'épiderme corné.

Cette substance fixe dans ce tissu vivant les radiations correspondant à son spectre d'absorption, radiations qui, dans les conditions normales, ne seraient pas retenues par le tissu à dose aussi élevée.

Cette densité d'absorption détermine une altération plus ou moins accentuée des cellules, altération décroissant avec la profondeur.

Les produits toxiques résultant de cette action augmentent les réactions locales de la photodermite, par des altérations vasculaires et périvasculaires des vaisseaux contenus dans le derme du corps papillaire; leur entraînement dans l'organisme y détermine des actions toxiques générales, qui s'accompagnent parfois d'éruptions cutanées distantes du siège de l'irradiation.

Pour L. Marceron (1928), les phénomènes secondaires de la photosensibilisation se rapprochent, par leurs caractères, de l'anaphylaxie, et il les désigne sous le nom de photoanaphylaxie.

L'application locale, par voie transcutanée, d'une substance photosensibilisante provoque une action localisée très rapide; l'injection intra-veineuse détermine une imprégnation générale rapide de toute la peau.

L'ingestion de la substance, surtout si elle est incluse dans les cellules d'une plante, donne des accidents plus irréguliers. Cette substance n'est pas toujours libérée des cellules qui la contiennent; elle trouve sur son passage la barrière formée par les organes et tissus à fonction antitoxique, particulièrement le foie; elle peut être diluée au point de devenir inopérante.

Ces conditions expliquent pourquoi toutes les substances photosensibles (les substances fluorescentes par exemple) ne sont pas photosensibilisantes, car elles ne se fixent pas toujours sur le corps muqueux de la peau; et aussi pourquoi les accidents varient de gravité suivant les individus, en raison de l'efficacité de leur défense anti-

toxique ou de leur aptitude à produire des substances photosensibilisatrices endogènes.

Les seules radiations actives dans la photosensibilisation sont celles qui constituent le spectre d'absorption de la substance fixée par la peau. D'après Guillaume, ce seraient surtout les radiations du spectre visible et les para-ultra-violettes. Les radiations ultra-violettes seraient arrêtées par la couche kératinisée de l'épiderme. Les effets obtenus avec des lampes à U.-V. seraient dus aux autres radiations qui accompagnent les U.-V.

D'après B. et H. Biancani (1928), la répartition énergétique dans une lampe à vapeur de mercure en quartz est la suivante :

Infra-rouge	87,2
Visible	6,4
Ultra-violet	6,4
Total	100

La question de l'action des radiations de diverses longueurs d'onde ne paraît pas complètement résolue: cette action est liée à deux propriétés des radiations : leur pénétration et leur pouvoir photochimique à l'égard de la cellule.

Le problème de la pénétration est complexe, les tissus vivants étant des milieux hétérogènes, à la fois absorbants et troubles, affaiblissant et diffusant chaque radiation d'une façon particulière. Ces tissus contenant beaucoup d'eau, immobilisée dans les colloïdes et chargée de substances dissoutes, on peut considérer que l'absorption par l'eau pure qu'ils contiennent est inférieure à celle des tissus.

L'eau ne commence à être réellement transparente que pour des radiations de longueur d'onde inférieure à 15.000 A. L'infra-rouge solaire est compris entre 53.000 et 7.600 A. Il présente donc une certaine possibilité de pénétration, tandis qu'un radiateur au rouge sombre (500°) produit un rayonnement dont le maximum d'intensité est 38.000 A, la proportion des ondes les plus courtes (20.000 A) n'y dépasse pas 1 % et ce rayonnement ne peut produire d'autre effet qu'un chauffage superficiel.

Quant à l'effet du « milieu trouble », on peut dire que les radiations visibles sont plus absorbées que les radiations infra-rouges.

Les différentes couches de la peau présenteraient à l'égard des radiations des réactions particulières en rapport avec la pénétration des radiations. Les couches superficielles subiraient surtout l'action photochimique des courtes longueurs d'onde qui lui apportent probable-

ment l'énergie nécessaire à ses fonctions chimiques. Les couches profondes, vascularisées, reçoivent l'action des radiations de grande longueur d'onde, plus pénétrantes, qui excitent le système vasculaire, favorisent la circulation des produits élaborés, l'élimination des produits qui peuvent résulter d'une action nocive dans la couche superficielle et la régénération des tissus lésés. La fixation d'une substance photosensibilisante troublerait cet équilibre normal (Biancani, 1928).

L'action photochimique des radiations sur les composants de la cellule sont mal connus; on a surtout enregistré l'effet nocif des radiations produites par les lampes à vapeur de mercure. La filtration de ces radiations, ou leur séparation par un monochromateur, sont indispensables pour établir l'action des diverses radiations que produisent ces lampes, en comparant ces radiations, à égale intensité.

Ces actions photochimiques suivent-elles les mêmes lois que la photochimie des corps inorganisés ? Peu d'expériences ont été faites pour résoudre ce problème.

Dognon (1928) sensibilisant des Paramécies à la lumière au moyen de rouge neutre, d'éosine, de rose de magdala, de rose bengale, a montré que le temps nécessaire pour obtenir la mort des Paramécies croît d'abord de moins en moins vite, à mesure que la dilution augmente, pour suivre ensuite une loi sensiblement linéaire; qu'il est, d'autre part, inversement proportionnel à l'intensité lumineuse.

Weinstein I. (1930) soumet des cultures de Paramécies à l'action de radiations U.-V. séparées par un monochromateur; il observe que les longueurs d'ondes inférieures à 3.000 A, plus vite absorbées par le protoplasme que les ondes plus longues, se montrent relativement plus efficaces. Pour une longueur d'onde donnée, la quantité d'énergie nécessaire pour tuer les Paramécies est sensiblement constante.

Risler et Foveau de Courmelles (1927), en soumettant des souris injectées de violet de méthyle à des lumières de diverses fréquences (infra-rouge, lampe à néon, ultra-violet), ont conclu que la mort est d'autant plus rapide que la fréquence de la lumière d'excitation est plus grande, et que la gravité du « choc radiant » est proportionnelle à l'intensité de la lumière.

Holweck (1930) a cherché à donner une expression quantique de l'action des radiations sur les micro-organismes. Il fait remarquer que des micro-organismes, placés dans des conditions semblables et soumis à une irradiation parfaitement homogène de rayons X, se comportent de façon différente : un petit nombre paraissent tués sur le coup, d'autres continuent à se reproduire normalement; la majorité meurent après une division anormale.

La variété des lésions individuelles serait due, pour les organismes

étudiés (bacilles et levures), à la diversité dans le lieu de l'absorption quantique de la radiation.

Pour le bacille pyocyanique, irradié par des rayons de 4 A, à la dose correspondant à un quantum mortel, en moyenne, pour chaque bacille, on constate que 16 quanta ont été en réalité absorbés par le corps entier du micro-organisme. « La cible qu'il faut toucher pour amener la mort a donc un volume 16 fois plus petit que le micro-organisme entier. »

Les levures, beaucoup moins sensibles au rayonnement que les microbes, « ne meurent pas pour un coup au but, mais seulement lorsqu'elles sont touchées par plus de coups.

« En réalité, ce qu'il faut toucher pour endommager le microbe, c'est sa *substance sensible* (probablement la chromatine)...

« L'action des U.-V. (non ionisants, absorption moléculaire) est totalement différente de l'action des rayons X ou α (ionisants, absorption atomique). Avec l'U.-V., lorsqu'on administre une dose telle qu'on a 50 % de morts immédiates, on a aussi 50 % de colonies normales: avec les rayons ionisants, lorsqu'on a 50 % de morts différées (après une division), il n'y a pas de morts immédiates. »

Lacassagne (1930) a observé aussi que, pour les levures soumises à l'U.-V., il n'y a pas de mort différée mais seulement mort immédiate.

Ces deux derniers auteurs (1931), opérant sur un Infusoire flagellé, *Polytoma uvella*, dont la cytologie est bien connue et dont le mode de culture se prête aux expériences relatives à l'influence des radiations, ont pu montrer que, suivant les lésions obtenues par l'action des rayons α ou X mous et le nombre de quanta nécessaires pour les obtenir, on peut émettre l'hypothèse que les « cibles » sensibles de l'organisme sont :

la nucléine du noyau, dont l'atteinte par un quanta provoquerait la stérilité des cellules filles issues de la première division et la lyse de la colonie;

le centrosome, dont l'atteinte laisserait l'organisme grossir anormalement, mais sans se diviser, pour subir la lyse à l'état d'individu monstrueux;

les centres cinétiques placés à la base des cils, dont l'atteinte immobilise l'organisme, qui se lyse, sans se diviser, après avoir présenté ou non un accroissement ultérieurement à l'irradiation.

En faisant agir des quanta de plus faible énergie (U.-V.) mais beaucoup plus nombreux, toutes les cibles sont atteintes en même temps: il n'y a plus de lésions différentes caractéristiques : toutes les parties sensibles de la cellule sont lésées en même temps.

De Nobèle, de Potter et Van Haelst (1929), en expérimentant sur des colibacilles en milieux solides et liquides, ont noté que seuls les U.-V. sont bactéricides et modifient le milieu de culture; que les I.-R. ne tuent pas les microbes et modifient lentement le milieu; que l'emploi simultané des I.-F. et des U.-V. permet au bacille de supporter des doses plus fortes.

Il n'est pas impossible que la présence de substances photosensibilisantes, généralement fluorescentes, influe sur les colloïdes plasmiques.

A. Boutaric et J. Bouchard (1931) ont signalé qu'en milieu fluorescent la floculation d'une solution colloïdale, sous l'influence des électrolytes, est accélérée, parfois dans des proportions très fortes, par la lumière et les radiations ultra-violettes et que l'effet de la photosensibilisation par la substance fluorescente est lié à son pouvoir fluorescent; les antioxygènes réduisent à la fois la fluorescence et l'action photosensibilisatrice.

L'action photosensibilisatrice de l'hématoporphyrine et son action lysante sur les hématies ont été étudiées *in vitro* par Fabre K. et Simonnet H. (1926-1927).

Ces auteurs ont montré que les hématies des diverses espèces animales ont une résistance très différente à l'hémolyse sous l'influence de l'hématoporphyrine, dans le jaune (5660 à 5800 A), mais qu'à égalité de teneur en cholestérol des suspensions globulaires correspond une résistance de même ordre à l'hémolyse.

L'étude d'un autre constituant lipoïdique du globule rouge, la lécitine, leur a montré que l'hémolyse est complète en présence de lécitine irradiée à l'ultra-violet, en présence d'hématoporphyrine, et qu'il est possible d'extraire de la lécitine irradiée un produit hémolytique, non déterminé.

Il est donc probable que, suivant la nature des radiations employées et, par conséquent, des photosensibilisateurs destinés à les capter, l'action nocive peut intéresser les divers constituants de la cellule.

VII. Substances photosensibilisatrices

La plupart des substances photosensibilisatrices sont fluorescentes, ce qui indique leur photosensibilité propre. Toutes les substances fluorescentes ne sont pas photosensibilisatrices. Celles qui le sont ne manifestent pas cette propriété au même degré.

Les substances organiques fluorescentes doivent cette propriété à un noyau fluorophore, constitué par une chaîne hétérocyclique, hexa-

gonale ou pentagonale, dans laquelle un ou deux C sont remplacés par N (principalement), O ou S. La présence d'un fluorophore dans la molécule ne suffit pas à déterminer la fluorescence (ni la pyrone, ni la diméthylpyrone ne sont fluorescentes); il faut que le fluorophore soit en relation avec deux ou plusieurs noyaux benzéniques; la substitution de radicaux gras ne produit aucune fluorescence.

Ci-après les principaux corps reconnus comme photosensibilisateurs et l'indication de leur noyau fluorophore.

a) Pigments naturels

Hémoglobine de formules différentes suivant les espèces d'animaux, présente 4 noyaux pyrroliques, réunis par un atome de fer, ne paraît pas être un photosensibilisateur. En perdant son fer, elle donne l'hématoporphyrine.

Hématoporphyrine C^{34} H^{38} N^4 O^6 (Kuster).

contient 4 noyaux pyrroliques.

Bilirubine C^{32} H^{36} N^4 O^6 (Richter-H. Imbert).
contient 4 noyaux pyrroliques.

(Pyrrol + 2 H).

Chlorophylle. — Plusieurs formules ont été données, deux chlorophylles *a* et *b* associées dans un même chloroplaste, compositions probablement un peu différentes suivant les espèces.

Les formules généralement admises sont :

pour la chlorophylle *a* Mg C^{55} H^{72} N^4 O^5;

pour la chlorophylle *b* Mg C^{55} H^{70} N^4 O^6.

Même constitution que l'hémoglobine, mais Mg remplace Fe et réunit quatre noyaux pyrroliques.

Phylloporphyrine C^{34} H^{38} N^4 O^2 (Richter) provient de la chlorophylle et se rapproche de l'hématoporphyrine par sa formule moléculaire, ses propriétés chimiques, son spectre d'absorption. Mériterait d'être étudiée au point de vue de la possibilité de sa formation dans l'intestin aux dépens de la chlorophylle et de son action probable comme sensibilisateur.

Rouge d'Hypericum C^{16} H^{10} O^5 (Cerny).

D'après Cerny, il se rattacherait aux flavones qui comportent le noyau de la pyrone. Sa couleur rouge paraît l'éloigner du groupe des flavones, qui comprend des colorants jaunes.

Son spectre d'absorption se rapprocherait beaucoup de celui de

l'Oxyhémoglobine (Wolff). Il y aurait donc lieu de rechercher s'il ne produit pas dans l'intestin une porphyrine qui serait la véritable substance sensibilisatrice.

b) Composés chimiques fluorescents

Groupe de l'Acridine.

Acridine $C^{13}H^9N$.

Dérive de l'anthracène par substitution d'un atome N à l'un des groupements CH.

fluorophore : Pyridine.

Gonacrine, ou trypaflavine ou acriflavine. Chlorométhylate de diamino-méthyl-*acridine.*

Jaune d'acridine.

2,7 diméthyl — 3,6 diaminoacridine.

Groupe de la fluorescéine.

Eosine ou tétrabromofluorescéine $C^{20}H^8Br^4O^5$ (Richter), s'obtient en traitant par le brome une solution alcoolique de fluorescéine.

Elle contient un noyau γ pyrone.

Erythrosine ou tétraiodofluorescéine $C^{20}H^8I^4O^5$ (Richter), composé identique à l'éosine, Br étant remplacé par I.

Rose Bengale ou tétraiodotétrachlorofluorescéine $C^{20}H^4I^4CL^4O^5$. Il existe aussi le tétrabromodichloro = et le tétrabromotétrachlofluorescéine.

Groupe des Thiazines.

Bleu de Méthylène ou chlorure de tétraméthyldiaminophénazthionium $(CH^3)^2 — N — C^6H^5(NS)C^6H^3 — N(CH^3)^2Cl$ (Richter) possède comme fluorophore un noyau hexégonal avec 4 C, N et S.

Groupe des Safranines.

Safranine ordinaire $C^{18}H^{12}(CH^3)^2N^4$.

Tolusafranine (chlorhydrate de safranine) $C^{18}H^{13}(CH^3)^2N^4CL$.

Chlorure de phénosafranine $C^{18}H^{15}N^4CL$.

Ce groupe admet comme fluorophore un noyau ayant 4 C et 2 N.

c) Désensibilisateurs

Résorcine. 1,3 $C^6H^4(OH)^2$; c'est un diphénol, le métadioxybenzène.

Pyrocathéchine. 1,2 $C^6 H^4 (OH)^2$; c'est aussi un diphénol, l'ortho-dioxybenzène.

Xylol : c'est un mélange de trois diméthylbenzènes (ortho, méta et para).

Ariana, le 30 mars 1932.

(*Service Botanique et Agronomique.*)

BIBLIOGRAPHIE

Azam H.-J. (1927). — *De la photosensibilisation.* Thèse. Paris.

Baly E.-C.-C. (1928). — Photosynthèses. *Science* 364, octobre, in Année biologique 33. 1, pp. 77-79.

Barker W.-F. (1931). — Quelques effets de la lumière. *Rev. gén. Sc.*, pp. 601-609.

Benoit Ch. et Helbronner A. (1930). — Thérapeutique photochimique. *C. R. Ac. Sc.* 191, pp. 233-235.

Berthoud A. (1927). — *Photochimie.* Paris.

Biancani E. et Biancani H. (1928). — Existe-t-il un antagonisme des radiations ? *Conf. intern. de la Lumière* (Lausanne-Leysin), pp. 308-311.

Bohn G. et Drzewina A. (1923). — Action toxique du rouge neutre en présence de la lumière. *C. R. Soc. Biol.*, 7 juillet.

Boutaric A. et Bouchard J. (1931). — Sur l'accélération produite par la lumière dans la floculation des solutions colloïdales en milieu fluorescent. *C. R. Ac. Sc.* 192, pp. 95-7.

Boutaric A. et Bouchard J. (1931). — Influence de la lumière sur la floculation des solutions colloïdales en milieu fluorescent. Rôle des anti-oxygènes. *C. R. Ac. Sc.* 192, pp. 357-8.

Cerny (1911). — Ueber des Hypericin (Hypericumrot). *Ztsch. f. physiol. Chem.* LXXIII, p. 370.

Cuzin J. (1930). — Etude sur la nature des radiations actives dans les phénomènes de photosensibilisation. Action photosensibilisatrice du bleu de méthylène, de l'éosine, de l'hématoporphyrine sur le cœur de grenouille « in situ ». *Bull. Soc. Chimie* XII, pp. 745-753.

Cuzin J. (1930). — Id. sur l'intestin du lapin. *Bull. Soc. Chimie biol.* XII, pp. 1401-1409.

DOGNON A. (1928). — La photosensibilisation biologique. Influence de la concentration du sensibilisateur et de l'intensité lumineuse. *C. R. Soc. Biol.* 98, p. 283.

DOGNON A. (1928). — Etude sur la photosensibilisation : la désensibilisation. *C. R. Soc. Biol.*, p. 374.

DREYER G. (1903). — Académie royale des sciences de Danemark (8 avril 1903), in *5e Année électrique* (1904), Dr FOVEAU DE COURMELLES.

EMSCHWILLER G. (1931). — L'action chimique de la lumière. *Rev. scient.*, pp. 618-628.

FABRE R. et SIMONNET H. (1926). — Etude sur l'action photosensibilisatrice de l'hématoporphyrine. *C. R. Ac. Sc.* 183, pp. 241-3.

FABRE R. et SIMONNET H. (1927). — Contribution à l'étude de l'hémolyse par action photosensibilisatrice de l'hématoporphyrine. *C. R. Ac. Sc.* 184, pp. 707-99.

FINGER (1907). — *Die Haut krankheiten.* In JAUSION 1927.

Faraday Society (The) (1931). — *Photochemical process.* Londres, p. 573.

FOX et RAMAGE (1930). — Analyse spectrographique des tissus animaux. *Nature*, p. 682.

GALAVIELLE et PORTES (1923). — Phénomènes de germination et de croissance des végétaux, modifications apportées par les substances fluorescentes. *Bull. Soc. Sc. Médic. et Biol.* Montpellier I, p. 647.

GUILLAUME A-C. (1927). — Physique et physiologie générale de la photosensibilité et des phénomènes de photosensibilisation. *Collection des travaux de pathologie comparée*, pp. 105 à 150, avec 25 réf. bib.

GUILLAUME A.-C. (1927). — *Les radiations lumineuses en physiologie et en thérapeutique.* Paris.

HALBERSTAEDTER. — In *5e année électrique.*

HALLUIN M. (D') (1930). — Contribution expérimentale aux phénomènes de photosensibilisation. *Ann. Institut d'actinologie* V., pp. 67-116.

HAUSMANN W. (1909). — Ueber die Gigtige Wirkung des Haematoporphyrins auf Warmblüter bei Belichtung. *Wien. klin. Wochenschrift* XXII, p. 1820, in JAUSION (1927).

HAUSMANN W. (1923). — Grundzüge der Lichtpathologie, in JAUSION 1927.

Hausmann W. et Zaribnicky F. (1929). — Vers la connaissance de l'Hypéricisme. *Klinisch Wochenschrift*. 8 janvier in Annales Inst. Actinol. III, p. 267.

Henri V. (1919). — *Etudes de photochimie*. Paris.

Henry A. (1913). — Accidents consécutifs à l'ingestion de millepertuis, observés sur des chevaux. *Bull. Soc. cent. Méd. vétér.* 4 déc.

Holweck F. (1930). — Interprétation quantique de l'action biologique des radiations. *Communication à la Société française de physique*, 30 mai 1930.

Holweck F. (1930). — Etude énergétique de l'action biologique de diverses radiations. *C. R. Ac. Sc.* 190, p. 527.

Holweck F. et Lacassagne A. (1930). — Sur le mécanisme de l'action cytocaustique des radiations. *C. R. Soc. Biol.* 104, pp. 766-9.

Holweck F. et Lacassagne A. (1931). — Action des rayons sur *Polytoma uvella*. Détermination des « cibles » correspondant aux principales lésions observées. *C. R. Soc. Biol.* 107, pp. 812-814.

Holweck F. et Lacassagne A. (1931). — Essai d'interprétation quantique des diverses lésions produites dans les cellules par les radiations. *C. R. Soc. Biol.* 107, pp. 814-817.

Jausion H. et Marceron L. (1925). — Le « coup de lumière » acridinique. Son traitement préventif par la résorcine. *Bull. Soc. franç. de Dermatologie et de Syphiligraphie* (juillet).

Jausion H., Pasteur et Azam (1926). — Guérison d'une pelade décalvante par photothérapie après photosensibilisation. *Id.* (novembre).

Jausion H. et Pecker A. (1927). — Pyrocatéchine intraveineuse et désensibilisation à la lumière. *Id.* (mai).

Jausion H. (1927). — Les phénomènes de photosensibilisation en pathologie humaine. *Collection des Travaux de pathologie comparée*, pp. 5 à 50.

Jausion H. (1928). — Les applications thérapeutiques de la photosensibilisation. *Conférence internationale de la lumière* (Lausanne-Leysin), pp. 277 à 255, avec 24 référ. bibliogr.

Kruger D. (1931). — Photochimie. *Die Tabulae biologicae periodicae*, vol. 1, fasc. 1, pp. 4-43.

Lacassagne A. (1930). — Différences entre l'action biologique des diverses radiations. *C. R. Ac. Sc.* 190, p. 527.

Loeb L. (1907). — *Archiv. f. Entwieklungs mech.* XXIII. In Jausion (1927).

MARCARD R. (1932). — De l'emploi de certains colorants dans la lutte contre le mildiou de la vigne. *Chim. et Indust.* 27, pp. 15-17 T.

MARCERON L. (1925). — *Contribution à l'étude de la photosensibilisation par les solutions fluorescentes.* Thèse. Paris.

MARCERON L. (1928). — Photosensibilisation et photoanaphylaxie. *Conférence intern. de la Lumière* (Lausanne-Leysin), pp. 262-264.

NOBÈLE (DE), POTTER F. (DE) et VAN HAELST. — Action antagoniste des rayons ultra-violets et infra-rouges sur certaines espèces microbiennes. *Bruxelles Méd.*, in Bull. Inst. Pasteur XXVIII, 971.

PHILIBERT A. et RISLER J. (1926). — Action de la lumière du néon sur les bactéries. *C. R. Ac. Sc.* 183, pp. 1137-9.

RICHER G.-A. (1926). — *Les Pellagres animales* (Thèse). Paris.

RICHET G.-A. (1927). — La Photosensibilisation chez les animaux. *Collection de Pathologie comparée*, pp. 53-81, avec 32 référ. bibliogr.

RISLER J. et FOVEAU DE COURMELLES (1927). — Sur le choc radiant. *C. R. Ac. Sc.* 184, pp. 701-3.

RISLER J., PHILIBERT A. et COURTIER J. (1928). — Action pathobiologique des rayonnements.

TAPPEINER (VON) H. — Ueber der Wirkung fluorescierender substanzen auf Fermente und Toxine. *Ber. D. Cher. Gesellschaf.* XXXVI, p. 30, in JAUSION (1927).

TAPPEINER und JOLDBAUER (1907). — *Die sensibilisierende Wirkung fluorescierender substanzen. Gesammelte untersuchungen über die photodynamische Erscheinung*, Leipzig, in JAUSION (1927).

TARDIEU A. (1924). — *Intoxication aiguë par le véronal et les autres dérivés de la malonylurée.* Thèse. Paris.

TRUFFAUT G. et PASTAC I. (1929). — La chémothérapie des plantes par des colorants organiques. *C. R. Ac. Sc.* 189, pp. 1013-5.

TRUFFAUT G. et PASTAC I. (1929). — Sur l'emploi des colorants organiques dans le traitement des affections cryptogamiques des végétaux. *C. R. Ac. Agric.*, pp. 1058-1063.

WEINSTEIN I. (1930). — Effets biologiques quantitatifs de la lumière ultra-violette monochromatique. *J. op. Soc. Amer.* 20, pp. 433-456; in *Journ. Physique* 1932, pp. 170 D.

BIBLIOGRAPHIE NON CONSULTÉE

FISCHER H. — A consulter les importants travaux de HANS FISCHER, de Vienne, sur les porphyrines, que nous n'avons pu nous procurer et qui ont paru pour la plupart dans *Liebigs Annalen der Chemie*, quelques-uns dans *Zeitschrift für physiologische Chemie*, depuis 1926; voir ses articles d'ensemble dans *Berichte der deutsche chemische Gesellschaft*, t. 60, p. 2611 (1927), dans *Naturwissenschaften*, t. 17, p. 611.

KIRMANN. — Les Méthodes de synthèse des porphyrines. Bulletin de sept. de la Société chimique de France, t. 47, p. 913.

EMSCHWILLER G. (1931). — La synthèse photochimique des Glucides (contenant quelques mots sur les travaux de FISCHER concernant la chlorophylle). *Bulletin de la Société chimique de France*, sept. 1931.

Table des Matières

Pages

L. Yankovitch. Contribution à la meilleure compréhension du problème de l'Azote dans les terres nord-africaines (thèse)..... 1

V. Novikoff. Azote apporté par les eaux de pluie..... 87

L. Yankovitch & V. Novikoff. Etude sur la croissance du Blé au Service Botanique et Agronomique de Tunisie..... 95

F. Bœuf. Organisation des recherches agronomiques au Service Botanique et Agronomique de Tunisie..... 123

V. Novikoff. Le rapport Az/P^2O^5 dans quelques variétés de Blés tunisiens..... 119

M. Matweef. Recherche d'une méthode expérimentale de panification et d'appréciation du pain..... 127

M. Matweef. Action améliorante des Blés durs tunisiens à l'égard des Blés tendres de faible valeur boulangère..... 135

M. Matweef. Etude de mélanges de farines à l'extensimètre Chopin; contrôle de la règle d'additivité des propriétés mécaniques des constituants..... 139

P.-M. Rousseau. Enquête sur la concentration des moûts de raisins.. 147

H. Soulmagnon. L'utilisation, comme insecticide, des huiles d'olive... 161

Soulmagnon, Constant & Scheur. Recherches sur les chlorures apportés au sol par l'atmosphère..... 169

F. Bœuf. La photosensibilisation des organismes..... 179

VENTES

Sont en vente au Service Botanique et Agronomique :

Annales du Service Botanique et Agronomique, T. VII (1930), 238 pages, 3 pl.	60 »
Annales du Service Botanique et Agronomique, T. VIII (1931). Le Blé en Tunisie, 454 p., 15 pl. en couleur, 13 pl. noires, 5 graphiques, 6 cartes.	100 »
Annales du Service Botanique et Agronomique, T. IX (1932), 272 pages, 16 pl.	60 »
Annales du Service Botanique et Agronomique de Tunisie, T. X (1933), 230 p., 13 planches (graphiques).	50 »
F. Bœuf (1923). Les Blés en Tunisie, 20 p.	2 »
— (1926). Contribution à l'étude du Blé dur, 47 p.	5 »
— (1929). Quelques caractères particuliers de l'agriculture tunisienne (cultures annuelles) déterminés par le climat, 25 p.	2 »
F. Bœuf, M. Matweef & Séguéla (1930). Valeur boulangère des Blés tendres cultivés en Tunisie, 24 p.	3 »
F. Bœuf & Ch. Chabrolin (1930). Action de la gelée sur les céréales à l'époque de l'épiaison, 25 p., 3 pl.	4 »
F. Bœuf. Le Blé en Tunisie (*Annales du Service Botanique et Agronomique*), T. VIII (1931), 450 p., 15 pl. en couleur, 13 pl. noires, 5 graphiques, 6 cartes.	100 »
L. Guillochon (1930). Etude sur les Aurantiacées, 30 p.	3 »
— (1931). Les arbres à fruits à noyau, 21 p.	2 »
— (1932). Les arbres à fruits à pépins, 10 p.	1 »
— (1932). Résultats des observations faites dans les vergers du Service Botanique et Agronomique, 22 p.	2 »
Albert Petit (1930). La transmission des Rouilles des Céréales en Tunisie, 20 p., 1 pl.	2 »
L. Yankovitch (1930). Emploi des engrais azotés dans le Nord de l'Afrique, 43 p.	5 »
— (1930). Etude préliminaire sur les assolements en Tunisie, 11 p., 1 graph.	2 »
L. Yankovitch & M. Matweef (1930). Influence des facteurs climatiques et des engrais sur la teneur des Blés tunisiens en matières azotées et leur valeur boulangère, 18 p.	2 »
L. Montlaur (1930). Un appareil radio-électrique de mesure de l'humidité, 7 p., 1 pl.	1 »
H. Erhart (1925). Contribution à l'étude des sols de Tunisie, 48 p.	5 »

H. Soulmagnon (1929). Recherches sur les chlorures apportés par l'atmosphère, 10 p..... 1 »

Th. Pagliano & J. Séguéla (1930). *Pachytychius avulsus*, Faust, charançon nuisible aux grains de Blé immatures, 12 p., 3 pl..... 2 »

Ch. Chabrolin (1932). Contribution à l'étude des maladies des arbres fruitiers en Tunisie, 24 p., 8 pl..... 4 »

L. Yankowitch (1933). Contribution à la meilleure compréhension du problème de l'Azote dans les terres nord-africaines (thèse), 86 p..... 10 »

V. Novikoff (1933). Le rapport Az/P^2O^5 dans quelques variétés de Blés tunisiens, 4 p..... 0 50

— (1933). Azote apporté par les eaux de pluie, 8 p..... 1 »

L. Yankovitch & V. Novikoff (1933). Etude sur la croissance du Blé au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, 24 p..... 3 »

M. Matweef (1933). 1. Recherche d'une méthode expérimentale de panification et d'appréciation du pain. — 2. Action améliorante des Blés durs tunisiens à l'égard des Blés tendres de faible valeur boulangère. — 3. Etude de mélanges de farines à l'extensimètre Chopin; contrôle de la règle d'additivité des propriétés mécaniques des constituants, 20 p..... 4 »

P.-M. Rousseau (1933). Enquête sur la concentration des moûts de raisins, 16 p..... 4 »

H. Soulmagnon (1933). L'utilisation, comme insecticide, des huiles d'olive, 8 p..... 2 »

Soulmagnon, Constant & Scheur (1933). Recherches sur les chlorures apportés au sol par l'atmosphère, 12 p..... 2 »

F. Bœuf (1933). La photosensibilisation des organismes, 40 p..... 8 »